

В. П. ДЕРУСОВ

**ОБРАТНАЯ
ПРОМЫВКА
ПРИ БУРЕНИИ
ГЕОЛОГО-
РАЗВЕДОЧНЫХ
СКВАЖИН**



МОСКВА «НЕДРА» 1984

Дерусов В. П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин. — М.: Недра, 1984. 184 с.

Предложена классификация способов и средств для бурения скважин и шахтных стволов с обратной промывкой. Кратко описаны отечественные и зарубежные буровое оборудование и инструмент для создания обратной промывки. Приведены соответствующие гидравлические и конструктивные расчеты. Большое внимание уделено технологиям бурения для всех видов обратной промывки. Проанализированы технико-экономические показатели. Рассмотрены преимущества, недостатки и перспективы развития различных видов обратной промывки.

Для инженерно-технических работников, занимающихся бурением геологоразведочных скважин и шахтных стволов.

Табл. 43, ил. 65, список лит. — 33 назв.

Рецензент — д-р техн. наук *Д. Н. Башкатов* (МГРИ)

ВЛАДИМИР ПРОКОФЬЕВИЧ ДЕРУСОВ
**ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА ПРИ БУРЕНИИ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН**

Редактор издательства *Н. А. Тарусова*
Обложка художника *Г. А. Петрова*
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*

Технический редактор *А. В. Трофимов*
Корректор *М. П. Курылева*

ИБ № 4332

Сдано в набор 06.07.83. Подписано в печать 16.09.83. Т-16597. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая, Усл. печ. л. 11,5. Усл. кр.-отг. 11,87. Уч.-изд. л. 13,35. Тираж 3250 экз. Заказ 543/8401-7. Цена 65 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», №03633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

ВВЕДЕНИЕ

Роль буровых работ в народном хозяйстве нашей страны огромна. Все жидкие и газообразные полезные ископаемые разведываются и эксплуатируются с помощью скважин. Буровые работы применяются в следующих случаях: а) разведка твердых полезных ископаемых; б) строительство различных сооружений; в) подземная разработка полезных ископаемых — вентиляция, водоотлив, водоснабжение, лесоспуск, тушение пожаров, подача сжатого воздуха, электроэнергии и т. д., г) открытая разработка — взрывные, дренажные и другие работы; д) проходка шахтных стволов в сложных геологических условиях; е) водоснабжение населенных пунктов, сельскохозяйственных объектов и т. д.; ж) подземная газификация угля; з) сейсморазведка; и) строительство плотин, гидросооружений и т. д.

При бурении скважин и шахтных стволов осуществляют промывку следующими промывочными агентами: водой, глинистыми и специальными растворами, рассолами, аэрированными жидкостями и др.

Промывка выполняет следующие функции: обеспечивает устойчивость стенок скважин; закрепляет слабосвязанные, рыхлые сыпучие породы; не допускает набухания или растворения проходимых пород, размывания керна, оттаивания мерзлоты; облегчает разрушение забоя; играет роль понизителей твердости; выносит разрушенную породу с забоя на поверхность или в шламовую трубу и др. В случае прекращения циркуляции шлам должен удерживаться в промывочной жидкости и не оседать на забое.

Гидравлическое давление в скважине, создаваемое промывочной жидкостью, должно превышать пластовое давление в высоконапорных горизонтах для предупреждения выбросов, но не приводит к гидравлическому разрыву пласта. В поглощающих горизонтах гидравлическое давление должно быть минимальным с целью уменьшения потерь промывочной жидкости в скважине.

В зависимости от направления циркуляции промывочной жидкости по отношению к разрушающему буровому инструменту систему промывки скважин и шахтных стволов до 1955 г. все исследователи разделяли на два вида — прямую и обратную.

При прямой промывке (рис. 1, а) промывочная жидкость подается к забоя скважин буровым насосом по колонне бурильных труб, омывает буровой наконечник, охлаждая его, и поднимается с забоя на поверхность по кольцевому зазору между бурильными трубами и стенками скважины (или шахтного ствола), поступая в циркуляционную систему.

При обратной промывке (рис. 1, б) промывочная жидкость по-

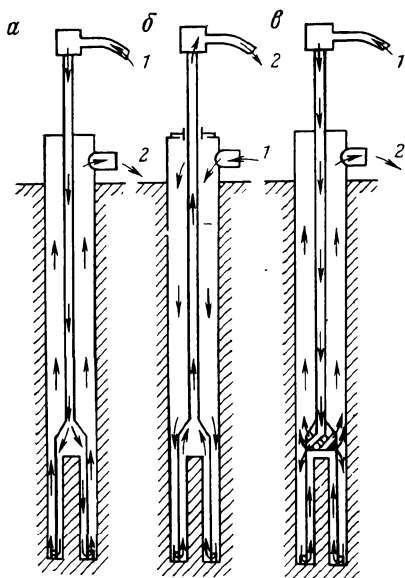


Рис. 1. Схемы способов промывки скважин с выходом промывочной жидкости на поверхность:

а — прямая; *б* — обратная; *в* — комбинированная; 1 — от насоса; 2 — в желобную систему

дается к забою от насоса по кольцевому зазору между буровыми трубами и стенками скважины, омывает буровой наконечник и поднимается на поверхность по внутреннему каналу буровых труб.

Начиная с 1955 г. некоторые исследователи стали делить систему промывки на три вида: прямую, обратную и совмещенную (комбинированную) [29], а некоторые [17] — на четыре: прямую, обратную, периодическую и совмещенную (рис. 1, *в*).

Разработка классификации всех видов промывки шла по пути ее усложнения.

Так, А. С. Волков и А. А. Волокитенков [5], в зависимости от схемы гидравлического контура разбили все разновидности обратной промывки на две большие группы: 1) система обратной промывки с выходом промывочной жидкости на поверхность; 2) внутрискважинная обратная про-

мывка без выхода жидкости на поверхность. Затем они классифицировали эти две группы по способам их создания. Недостаток этой классификации заключается в том, что в нее не входят системы комбинированных (периодической и совмещенной) промывок.

Более подробную классификацию видов обратной промывки предложил Л. Д. Базанов, который разделил их на три группы по месту создания: 1) по всему стволу скважины; 2) в призабойной зоне; 3) комбинированную по стволу скважины. Каждую из этих групп он подразделил по разным принципам: первую — по принципу создания (принудительная с поверхности, весом столба жидкости в кольцевом пространстве); вторую — по характеру движения жидкости (пульсирующая, равномерная); третью — по виду промывочного агента (промывочная жидкость, воздух, газ). Более мелкие подразделения обратной промывки сделаны упомянутым исследователем тоже по разным принципам, что усложнило классификацию. Однако классификация Л. Д. Базанова дала возможность установить определенную связь между различными вариантами обратной промывки.

Автор данной работы учел достоинства и недостатки этих классификаций и разработал свою, которая приведена на рис. 2. При составлении этой классификации он исходил из того, что вся система промывки делится на прямую, обратную и комбинирован-

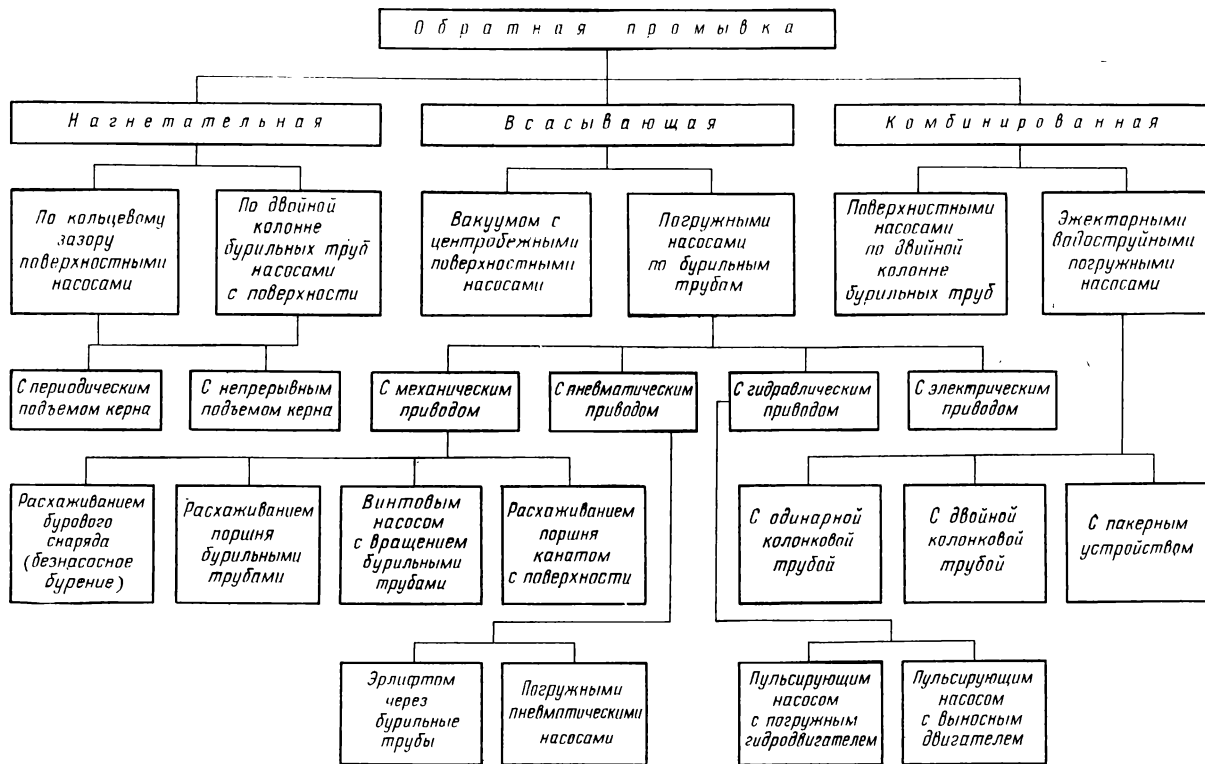


Рис. 2. Классификация способов и средств для бурения скважин с обратной промывкой

ную, подразделяющуюся на периодическую (последовательную) и совмещенную (параллельную). Оба варианта комбинированной промывки относятся в равной степени как к прямой, так и к обратной промывке.

По характеру воздействия на промывочные агенты различных устройств (насосов, компрессоров, эжекторов и т. д.), создающих обратную промывку (или продувку), последняя делится на три группы: нагнетательную, всасывающую и нагнетательно-всасывающую (комбинированную).

Нагнетательная обратная промывка обычно создается насосами, установленными на поверхности, которые направляют жидкость к забою или по кольцевому пространству между стенками скважины и буровым снарядом, или по двойной колонне бурильных труб (в кольцевом зазоре между наружными и внутренними трубами) с одновременной подачей утяжеленных растворов по кольцевому зазору между стенками скважины и двойной колонной бурильных труб. При этом утяжеленный раствор, находясь в кольцевом зазоре, препятствует выходу промывочной жидкости на поверхность через кольцевой зазор и направляет ее на поверхность по внутренней колонне бурильных труб. Нагнетательная обратная промывка по способу подъема керна с забоя на поверхность подразделяется на две группы: 1) с периодическим подъемом керна; 2) с непрерывным гидравлическим подъемом керна по бурильным трубам.

Всасывающая обратная промывка может создаваться: специальными вакуумными насосами, установленными на поверхности; погружными насосами, размещенными в бурильных трубах и в колонковых наборах. Наиболее простой вариант создания всасывающей промывки—первый, наиболее сложный—второй.

Нагнетательно-всасывающая (комбинированная) обратная промывка может быть последовательной с периодическим изменением прямой промывки на обратную и параллельной с одновременным применением прямой и обратной промывок.

При использовании периодической промывки направление потока промывочной жидкости периодически меняется с прямой промывки на обратную и наоборот в зависимости от сложности геологического разреза и возникающей необходимости и целесообразности.

Изменение направления промывочной жидкости, подаваемой к забою скважины, обычно осуществляют на поверхности за счет обвязки насоса и устья скважины.

Комбинированная обратная промывка может быть создана путем нагнетания промывочной жидкости к забою по двойной колонне бурильных труб с возвращением ее на поверхность как по кольцевому зазору между стенками скважины и буровым снарядом, так и по внутренней колонне бурильных труб. Для увеличения скорости подъема жидкости по внутренней колонне бурильных

труб часто применяют эрлифтный отсос жидкости через третью колонну.

Параллельным вариантом нагнетательно-всасывающей промывки является применение эжекторных (водоструйных) насосов, размещаемых в колонковых наборах. В этом случае промывочная жидкость сначала подается в скважину по бурильным трубам, т. е. как при прямой промывке (см. рис. 1, в), но, дойдя до эжекторного насоса, эта жидкость через отверстия в специальных переходниках подается в кольцевой зазор между стенками скважины и колонковой трубой. Вследствие разрежения, создаваемого в камере эжекторного насоса, соединенной через колонковую трубу с забоем, происходит отсос жидкости с забоя через колонковую трубу. Таким образом, от забоя скважины часть жидкости движется на поверхность по кольцевому зазору, а часть создает обратную призабойную промывку.

Нагнетательно-всасывающая обратная промывка, осуществляемая с помощью эжекторных насосов, имеет несколько разновидностей: с одинарной колонковой трубой, с двойной колонковой трубой, с пакерным устройством.

Большое число предложенных схем обратной промывки свидетельствует об отсутствии универсальных способов, пригодных для различных условий бурения. Эффективность применения того или иного способа бурения с обратной промывкой зависит прежде всего от правильности выбора для каждого конкретного случая, от соответствия способа данным геологических, гидрогеологических и технических условий. Так, некоторые способы могут быть применены только при отсутствии поглощения промывочной жидкости в скважине, например нагнетательная обратная промывка по всему стволу скважины с герметизацией устья. Большинство способов всасывающей обратной промывки применимо при полном поглощении промывочной жидкости, но требует наличия в скважине грунтовых вод или столба жидкости, достаточного для создания необходимого перепада давления (20—30 м), а при эрлифтном способе высота столба жидкости должна быть не менее 20—100 м от забоя.

Некоторые способы обратной промывки ограничиваются применением породоразрушающего инструмента, например, безнасосное бурение эффективно только с использованием твердосплавных коронок.

Каждый из указанных способов обладает специфическими особенностями, достоинствами и недостатками. Однако все варианты обратной промывки имеют одно общее достоинство: улучшают выход керна — важное качество при бурении геологоразведочных скважин.

Глава 1

БУРЕНИЕ СКВАЖИН С НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

§ 1. НАГНЕТАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА ПО КОЛЬЦЕВОМУ ЗАЗОРУ, СОЗДАВАЕМАЯ НАСОСАМИ, РАСПОЛОЖЕННЫМИ НА ПОВЕРХНОСТИ

Оборудование устья скважины

При обратной циркуляции промывочная жидкость нагнетается насосом через превентор, установленный над устьем скважины, в кольцевой зазор между буровым снарядом и обсадными трубами (см. рис. 1, б). По этому зазору жидкость доходит до забоя, далее через прорези коронок она направляется вместе со шламом и разрушенным керном внутрь колонкового снаряда и бурильной колонны. В циркуляционную систему жидкость попадает через промывочный сальник, закрепленный на бурильных трубах, и отводной шланг.

При нагнетательной обратной промывке одним из важных факторов является скорость выходящего потока промывочной жидкости, которая удерживает в колонковой трубе мелкие кусочки керна и шлама, получаемые при проходке данного интервала, во взвешенном состоянии, обеспечивает равномерное распределение дробы под торцом дробовой коронки, сохраняет керна и шлам от повторного разрушения и переизмельчения, которые имеют место при прямой промывке.

Нагнетательную обратную промывку можно применять не только при дробовом, но и при твердосплавном и алмазном бурении.

Для бурения скважин с нагнетательной обратной промывкой используют то же оборудование, что и при прямой промывке, кроме оборудования устья скважины и системы обвязки бурового насоса.

Устье скважины при бурении с нагнетательной обратной промывкой оборудуют следующим образом. Скважину крепят обсадными трубами до устойчивых пород. Затрубное пространство обязательно цементируют (полностью или частично). При частичном цементировании цементируют только устье скважины или устье скважины и башмак обсадных труб. При цементировании только устья скважины возникают потери промывочной жидкости большие, чем при цементировании устья и башмака колонны обсадных труб. Это объясняется тем, что устье скважины и большая

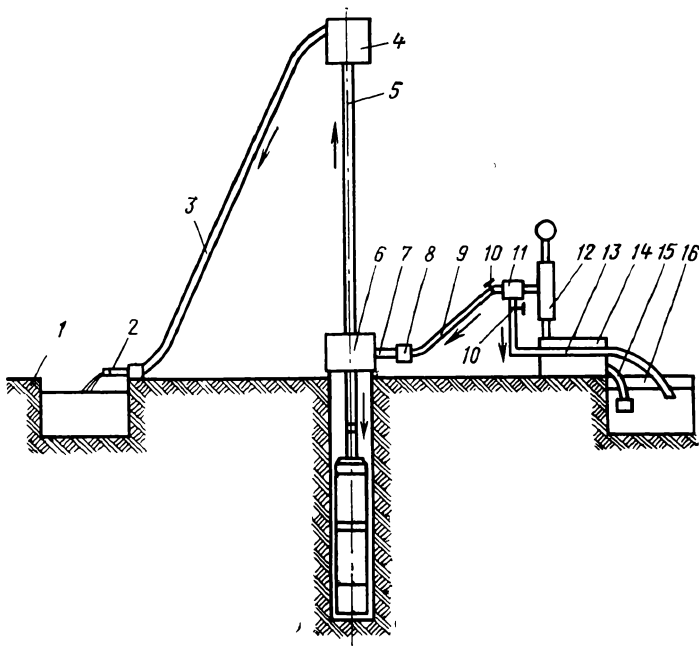


Рис. 3. Обвязка насоса при бурении с обратной нагнетательной промывкой

часть колонны обсадных труб обычно расположены в слабых породах осадочного происхождения, где часто возникают потери промывочной жидкости, а башмак колонны — в плотных и крепких породах.

Для цементирования применяют цемент высоких марок. На твердение цемента затрачивают 1,5—2 сут, для ускорения схватывания и твердения к нему добавляют жидкое стекло в количестве 1,3 % от массы цемента.

Крепить скважину обсадными трубами необходимо так, чтобы над ее устьем выступал верхний конец колонны высотой не более 25 см с резьбой под превентор для обратной промывки.

На одном из рудников при бурении скважин с обратной промывкой алмазными коронками в подземных условиях применяли специальные приспособления для оборудования устья скважины, состоящие из устройства для герметизации затрубного пространства превентора под бурильные трубы и переходника с бурильной на колонковую трубу. Это приспособление выполняет две функции: надежно закрепляет обсадную трубу в скважине и герметизирует затрубное пространство. Время его установки составляет 10—15 мин. После окончания бурения приспособление извлекают из скважины по элементам. В собранном виде его можно использовать на другой скважине.

Обвязку насоса (рис. 3) осуществляют так, чтобы в процессе бурения можно было без потерь рабочего времени изменять по

мере необходимости обратную промывку на прямую и наоборот.

Промывочная жидкость в необходимом количестве подается из отстойника 16 насосом 14 по всасывающему шлангу 15 в затрубное пространство скважины для создания нагнетательной обратной промывки. Подача жидкости от насоса в скважину осуществляется через воздушный колпак 12, тройник 11, вентиль 10, шланг 9, гайку 8 с газовой резьбой, штуцер 7 и превентор 6. Лишняя жидкость, откачиваемая насосом из отстойника 16, сбрасывается через шланг 13 в тот же отстойник.

При нагнетательной обратной промывке жидкость, подаваемая через превентор 6 в скважину, поднимается с забоя скважины по бурильным трубам 5 и через сальник-вертлюг 4, шланг 3 и штуцер 2 сбрасывается в отстойник 1. Штуцеры 2 и 7 имеют одинаковые диаметр и резьбу, поэтому для перехода с обратной промывки на прямую достаточно отвинтить гайку 8, закрепленную на шланге 9, со штуцера 7, приваренного к превентору 6, и навинтить ее на штуцер 2, закрепленный в шланге 3.

Расход промывочной жидкости, подаваемой в скважину как при обратной, так и при прямой промывке, регулируют с помощью вентиля 10.

Конструктивные разновидности превенторов для герметизации устья скважины

При бурении скважин с нагнетательной обратной промывкой над устьем скважины должен быть установлен герметизатор, который часто называют превентором или буровой головкой, или сальником для обратной промывки.

Герметизатор выполняет роль сальника при создании обратной циркуляции промывочной жидкости. Через него в затрубное пространство скважины подается от насоса промывочная жидкость, которая, омывая забой, попадает внутрь бурового снаряда и, двигаясь в нем до поверхности, сбрасывается в циркуляционную систему.

Герметизатор должен отвечать следующим требованиям: быть герметичным в местах присоединения его к обсадным трубам и проходить через него рабочей штанги; иметь простую конструкцию, легко разбираться и собираться на отдельные детали; быть небольшим по высоте и не препятствовать возвратно-поступательному перемещению шпинделя бурового станка; легко отсоединяться от обсадных труб в случае замены обратной промывки на прямую; быстро разбираться для замены сальниковых уплотнений и ремонтироваться; легко и прочно подсоединяться к обсадным трубам; свободно пропускать бурильные трубы при вращении без нарушения сальниковых уплотнений; работать безотказно и долго в случае нарушения соосности ведущей штанги или герметизирующего устройства.

Выбор герметизирующих устройств зависит от типа буровой установки (шпиндельная или роторная), формы сечения ведущей

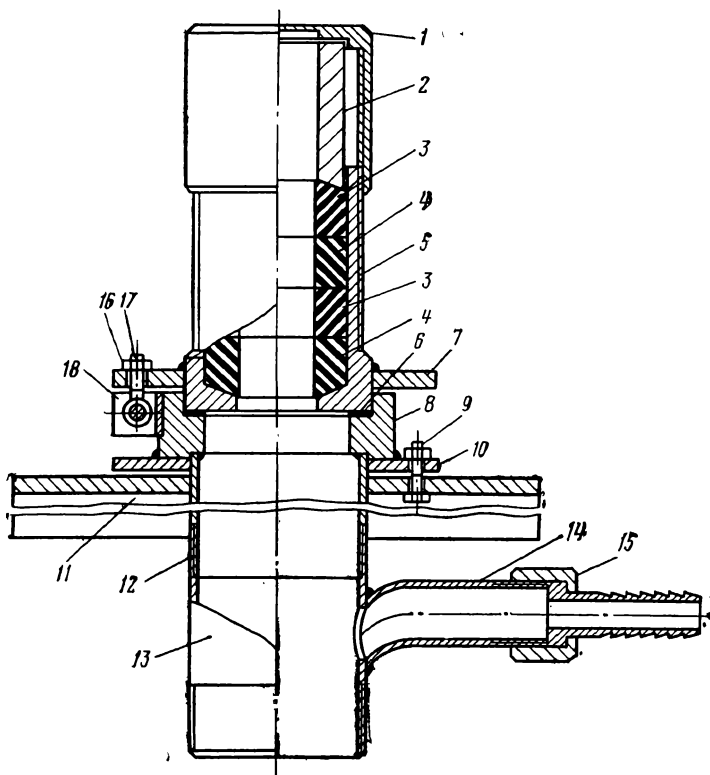


Рис. 4. Превентор для герметизации устья скважины при бурении с обратной нагнетательной промывкой

штанги, наличия или отсутствия механизмов для свинчивания или развинчивания штанг. Почти всем этим требованиям отвечает превентор конструкции экспериментально-технической партии (ЭТП), применяющийся при бурении геологоразведочных скважин в Кривбассе (рис. 4).

Превентор имеет две части: нижнюю и верхнюю, соединенные между собой тремя шарнирными откидными болтами 17 с гайками 16.

Нижняя часть превентора состоит из тройника 13 с резьбами под обсадные трубы и ниппель 12, патрубка 14. Гайка 15 вместе с нагнетательным шлангом от насоса навинчивается на патрубок 14 тройника 13.

К ниппелю 12 приварены фланец 10 и воронка 8 с ушками 18 для болта 17. Фланец 10 и швеллер 11 крепятся между собой тремя болтами 9. Швеллер 11 служит для создания большей устойчивости превентора при бурении. Он крепится к полу или к про-

дольным ряжам откоса вышки с помощью металлических скоб или болтов. При неглубоком бурении швеллер не применяют.

Верхнюю часть превентора устанавливают на ведущей штанге бурового станка, и он перемещается вместе с ней. Для герметизации зазора между верхней и нижней частями превентора на нижнюю часть укладывают резиновую прокладку 6.

Верхняя часть превентора состоит из корпуса 5 с газовой резбой, на которую навинчивается гайка 1. К нижней части корпуса приварен фланец 7, служащий для соединения обеих частей превентора с помощью шарнирных откидных болтов 17. Внутри корпуса 5 находятся резиновые сальники (уплотнения) 3 и 4, а также грандбукса 2, служащая для уплотнения сальников 3 и 4. Сальники изготавливаются из старых автомобильных покрышек и могут служить более двух недель без замены. Превентор прост по конструкции и может быть сделан в механических мастерских геологоразведочной партии (ГРП).

Превентор аналогичной конструкции может крепиться к обсадной трубе с помощью электросварочного шва и планок, а также с помощью хомута [5].

Для бурения с обратной промывкой можно использовать превенторы, которые применяют при бурении с продувкой. Они служат для защиты обслуживающего персонала и бурового оборудования и предупреждения выбросов аэрированной жидкости из скважины.

Для бурения с продувкой воздухом изготавливают превенторы двух типов. Первый тип превентора применяют в том случае, когда ведущая штанга имеет круглое сечение; второй тип — когда она квадратного сечения. В первом случае сальниковое уплотнение сохраняет свое постоянное положение, а штанга вращается внутри сальника; во втором — сальниковое уплотнение вращается вместе со штангой внутри корпуса. Каждый тип в зависимости от конкретных условий работы имеет несколько модификаций.

На рис. 5 изображен превентор ГУ-МГРИ-2а для шпиндельных станков с применением штанг круглого сечения.

Превентор состоит из фланца 9 с ниппелем, навинчиваемым на кондуктор, и съемочной части, находящейся постоянно на ведущей трубе. Съемная часть устройства состоит из сальника, уплотняющего кольцевое пространство вокруг ведущей штанги, и амортизатора 4, эластично соединяющего съемочную часть с фланцем 9. Амортизатор представляет собой диск из пластичной резины толщиной 15—20 мм. Внутренняя кромка амортизатора 4 зажата шестью болтами 13 между шайбой, приваренной к корпусу сальника 7, и шайбой 2; наружная кромка зажата восьмью болтами 12 между шайбами 5 и 3.

Сальник состоит из корпуса 7, двух втулок 10, резинового уплотнения 11 и нажимной гайки 1 с рукоятями. Втулки 10 и уплотнение 11 являются сменными деталями. Их изготавливают двух размеров: для ведущих штанг диаметром 50 и 63,5 мм. По мере износа во время работы их заменяют запасными. Уплотне-

ния 11 готовят из специальной износостойчивой резины марки 2959 ТУ МХП 1166-58 способом вулканизации в специальных прессформах. В случае отсутствия специальных уплотнений их можно заменить протекторными резиновыми кольцами, надеваемыми на бурильные трубы, для предохранения их от истирания о стенки скважины. При этом из стенки протекторного кольца нужно вырезать с одной стороны полосу шириной около 5 мм наискось под углом 30° к оси для того, чтобы внутренняя поверхность протекторного кольца плотно облегла ведущую штангу. Четыре откидных шарнирных затвора служат для соединения съемной части с фланцем 9 неподвижной части.

Сборку превентора ГУ-МГРИ-2а производят в следующем порядке: отдельно собирают неподвижную

часть с затворами и подвижную часть без внутренних деталей сальника. Неподвижную часть навинчивают на кондуктор. Затем отвинчивают замок с ведущей трубы, надевают на трубу детали 10, 11 и 1, вводят нижний конец ведущей трубы в корпус сальника 7. Посадив детали на место в корпусе, завинчивают и затягивают гайку сальника, затем ставят верхнюю часть на нижнюю и закрепляют ее затвором 8. При этом надо отрегулировать с помощью резьбы рабочую длину Т-образных болтов этих затворов, чтобы обеспечить плотное прижатие шайбы 5 к резиновой прокладке 6, утопленной в специальный паз на фланце 9. Эта прокладка служит для уплотнения зазора между деталями подвижной и неподвижной частей. При эксплуатации устройства необходимо смазывать ведущую трубу над уплотнением консистентной смазкой (солидол) или водой, своевременно подтягивать нажимную гайку сальника и заменять изношенные уплотнения 11. Смазочные материалы на нефтяной основе применять нельзя.

Съемная часть инструмента при наращивании и спуско-подъемных операциях устанавливается и снимается с помощью шарнирных затворов за несколько секунд.

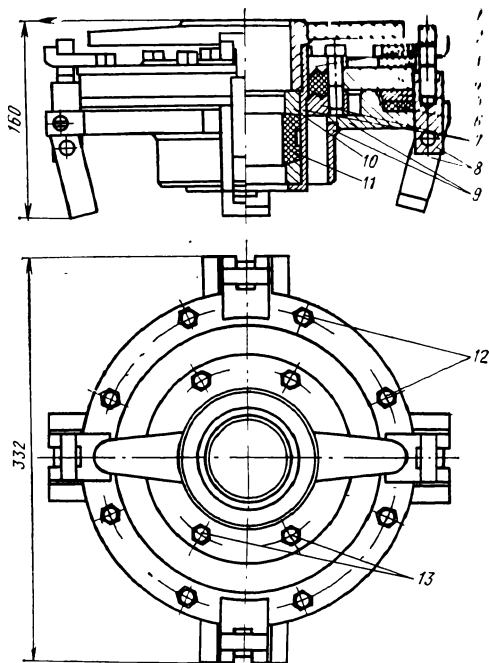


Рис. 5. Превентор ГУ-МГРИ-2а:

1 — нажимная гайка с рукоятками; 2, 3, 5 — шайбы; 4 — амортизатор; 6, 11 — резиновые прокладки; 7 — корпус сальника; 8 — откидные шарнирные затворы; 9 — фланец с ниппелем; 10 — втулки; 12, 13 — болты

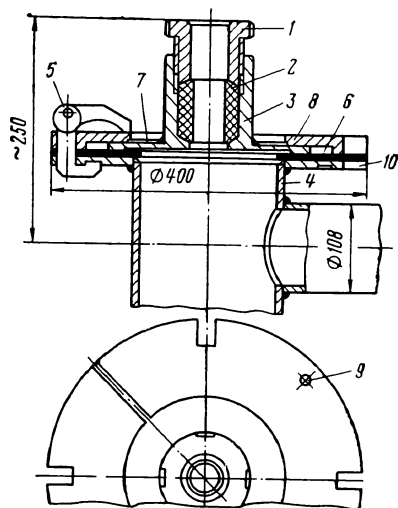


Рис. 6. Превентор КБ-СВГУ:

1 — нажимная гайка; 2 — сальниковое уплотнение; 3 — корпус сальника; 4 — тройник; 5 — нажимная скоба с эксцентриком; 6 — прокладочная резина; 7 — фланец корпуса сальника; 8 — сменный фланец; 9 — фиксатор; 10 — опорный фланец

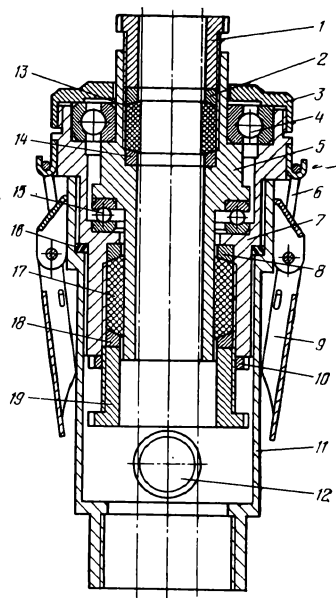


Рис. 7. Превентор конструкции И. С. Тихонова:

1, 19 — грандбуksы; 2, 8, 14, 18 — шайбы; 3 — крышка; 4 — радиальный шарикоподшипник; 5 — шпindelъ; 6 — накидной хомут; 7 — внутренний корпус превентора; 9 — ручка; 10 — контргайка; 11 — наружный корпус превентора; 12 — отверстие для подачи промывочной жидкости в скважину; 13, 17 — сальниковые набивки; 15 — упорный шарикоподшипник; 16 — резиновая прокладка

На рис. 6 изображен превентор КБ-СВГУ, который состоит из корпуса 3 сальника с приваренным к нему фланцем 7 и тройника 4 с опорным фланцем 10. В корпусе 3 помещается сальниковое уплотнение 2, которое по мере износа поджимается нажимной гайкой 1. Корпус сальника с фланцем 7 крепится на опорном фланце 10 при помощи разрезного фигурного фланца 8 и зажимной скобы с эксцентриком 5. Разрезной фланец 8 фиксируется относительно нижнего фланца 10 фиксатором 9.

При отсутствии соосности ведущей штанги с кондуктором и возникших при этом биениях корпус сальника перемещается в радиальном направлении в пределах выточек на верхнем разрезном фланце 8. Между верхним и нижним фланцем ставится слой прокладочной резины 6. В качестве сальниковой набивки применяют строительный войлок, пропитанный консистентной смазкой (солидол).

Для герметизации устья скважины при бурении с нагнетательной обратной промывкой в подземных условиях на обсадную

трубу устанавливают превентор конструкции И. С. Тихонова (рис. 7).

Проходное отверстие наружного корпуса 11 превентора позволяет спускать и поднимать буровой снаряд, наружный диаметр которого на один диаметр меньше установленной обсадной трубы. Конструкция указанного превентора позволяет применять не

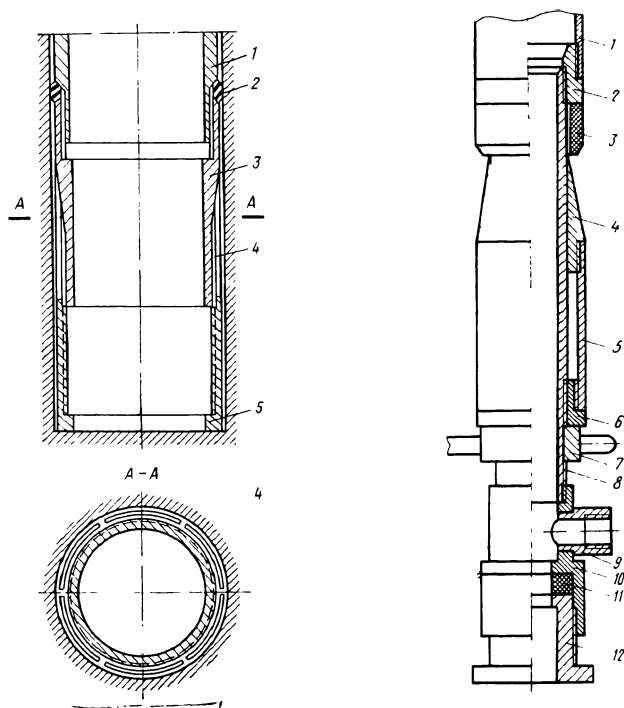


Рис. 8. Приспособление для герметизации затрубного пространства

Рис. 9. Превентор конструкции ЗабНИИ [25]:

1 — обсадная труба; 2 — переходник; 3 — уплотнительное кольцо; 4 — распорный корпус; 5 — упорная втулка; 6 — толкатель; 7 — поджимная гайка; 8 — направляющая труба; 9 — тройник; 10 — корпус превентора; 11 — сальниковое уплотнение; 12 — нажимная гайка

только круглые, но и квадратные или шестигранные ведущие штанги. При спуско-подъемных операциях внутренний корпус 7 превентора и шпindelь 5 отсоединяются от наружного корпуса 11 и вместе с ведущей штангой отводятся от устья скважины.

Превентор И. С. Тихонова применяют в комплекте с приспособлением для герметизации затрубного пространства, изображенным на рис. 8.

Это приспособление состоит из обсадной трубы 1, переходника с конусной поверхностью 3, башмака 5, имеющего в своей верхней части прорези 4. Между обсадной трубой и переходником поме-

щено уплотняющее резиновое кольцо 2. Перед установкой приспособления в скважину резиновое кольцо не выступает за наружные стенки переходника 3, что обеспечивает надежную доставку приспособления к забою.

В собранном виде приспособление без вращения опускают в скважину до забоя. При вращении обсадной трубы резьбовые соединения доворачиваются и выдавливают резиновое кольцо в затрубное пространство, образуя пакер, и расклинивают башмак в скважине.

Наружный диаметр башмака 5 и переходника 3 выбирают так, чтобы они были меньше фактического диаметра скважины на 1—2 мм.

Приспособление для герметизации затрубного пространства позволяет бурить с обратной промывкой без цементации затрубного пространства обсадных труб. Оно выполняет две функции: герметизацию затрубного пространства; надежное закрепление обсадной трубы в скважине. Время на установку описанного приспособления составляет 10—15 мин.

После окончания бурения скважины обсадную трубу вывертывают из переходника 3 и поднимают на поверхность. Затем с помощью метчика вывинчивают переходник 3 и оставшиеся детали приспособления, и оно в собранном виде может применяться на другой скважине.

На Савинском месторождении Нерчинского полиметаллического комбината при бурении скважин алмазными коронками типа 01АЗД3020 диаметром 36 и 46 мм в подземных условиях с обратной промывкой применяли превентор (герметизатор) ЗабНИИ (рис. 9) [25]. Превентор крепится к обсадной трубе на резьбе с помощью специального переходника.

Существует много других конструктивных разновидностей превенторов для герметизации устьев скважин при бурении с нагнетательной обратной промывкой по всему стволу скважины с периодическим подъемом керна. Большинство из них имеют сложную конструкцию и не всегда надежны в работе.

При выборе превенторов для бурения с обратной промывкой нужно стремиться к тому, чтобы они были просты по конструкции и чтобы их можно было изготовить в мастерских геологоразведочных организаций.

Технология бурения твердосплавными и алмазными коронками

Технология бурения алмазными коронками

Осевую нагрузку на забой P определяют исходя из допустимого удельного давления $p_{уд}$, рекомендуемого практикой ($p_{уд} = 500—1200 \text{ Н/см}^2$), и площади торца коронки S (в см^2): $P = p_{уд} \cdot S$.

Для того чтобы алмазы по мере их износа постепенно обнажались из тела матрицы, осевая нагрузка на забой должна не-

прерывно повышаться и к концу работы коронки возрасти примерно вдвое. Давление на забой должно быть на 10—20 % больше, чем при прямой промывке, так как при обратной промывке промывочной жидкостью создается большее противодействие буровому снаряду, чем при прямой. Частота вращения бурового снаряда рекомендуется такой же, как и при бурении с прямой промывкой, если превентор хорошо закреплен над устьем скважины.

В противном случае во избежание обрыва обсадных труб необходимо снижать частоту вращения бурового снаряда.

При бурении алмазными коронками частота вращения бурового снаряда служит главным фактором режима бурения. Для разведочных скважин она ограничена значениями 700—800 об/мин из-за вибрации бурового снаряда. Чтобы уменьшить вибрацию, следует применять антивибрационную смазку бурильных труб, прочно укреплять буровой станок на фундаменте, использовать хорошо центрированные колонковые наборы и штанги. При выборе частоты вращения необходимо учитывать глубину бурения и технические данные бурового станка.

Количество промывочной жидкости, подаваемой в скважину при бурении с нагнетательной обратной промывкой, также должно быть значительно больше, чем при бурении с прямой промывкой, так как наблюдаются потери промывочной жидкости в затрубном пространстве. В практике часты случаи, когда при бурении с прямой промывкой промывочная жидкость выходит из скважины, а при бурении с обратной она полностью теряется. Для восстановления циркуляции промывочной жидкости при бурении с обратной промывкой в глинистый раствор добавляют опилки, кожу-горох, навоз и другие заполнители, которые закачивают в скважину вместе с глинистым раствором. Применяют также тампонаж скважин глиной, цементом, быстросхватывающимися смесями. Вместе с опилками и кожей-горохом в скважину иногда засыпают через превентор несколько ведер бурого угля, который увеличивает количество гуминовых кислот в глинистом растворе и повышает его вязкость.

Чтобы уменьшить потери промывочной жидкости при бурении алмазными коронками с обратной промывкой, необходимо увеличить суммарную площадь прорезных отверстий в алмазных коронках. Это целесообразно делать за счет увеличения высоты прорезных отверстий.

При бурении скважин станком ГП-1 с применением нагнетательной обратной промывки для коронок АК1₂-46 и МВ1₂-46 были следующие параметры режима бурения: частота вращения бурового снаряда 448 об/мин; осевая нагрузка на забой 1,5—5,0 кН; расход воды 18—20 л/мин.

Для коронок О1АЗ диаметрами 36 и 46 мм поддерживали следующие параметры режима бурения: частоту вращения бурового снаряда 448 об/мин; осевую нагрузку на забой 5—7 кН.

При бурении сплошным забоем (алмазными долотами) удель-

ный расход промывочной жидкости на 1 см диаметра долота следует принимать равным 20—40 л/мин.

Так же как и в СССР, за рубежом одним из основных параметров, определяющих уровень технологии и техники бурения с алмазными коронками, считается окружная скорость алмазной коронки. Для однослойных коронок зарубежные фирмы рекомендуют окружные скорости в зависимости от твердости пород от 1 до 3 м/с; для импрегнированных коронок до 2—5 м/с.

С увеличением диаметра частота вращения бурового снаряда должна уменьшаться. Так, для коронок диаметром 36 мм оптимальная частота вращения бурового снаряда колеблется от 1000 до 3000 об/мин, а для коронок диаметром 76 мм — от 500 до 1800 об/мин. Следует учитывать прочность бурильных труб и глубину скважины.

Фирма «Кристенсен» (США) рекомендует определять величину осевой нагрузки исходя из того, что удельное давление, проходящее на единицу площади контакта каждого алмаза с породой, должно быть больше или равно прочности породы на сжатие и не превышать прочности алмазов:

$$\sigma_{\text{сж}} \leq \frac{P}{SN} \leq \sigma,$$

где $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности породы на сжатие, Н/см²; σ — предел прочности алмазов на сжатие, Н/см²; P — осевая нагрузка на однослойную коронку, Н; S — площадь контакта алмазов с породой, см²; N — число объемных алмазов, равное примерно 2/3 от общего числа алмазов в коронке.

Необходимая осевая нагрузка на коронку

$$P \geq \sigma_{\text{сж}} SN = \frac{2}{3} \sigma_{\text{сж}} SKW,$$

где N — число объемных алмазов, $N = 2/3 KW$, шт.; K — крупность алмазов, шт/кар; W — общая масса алмазов в коронке, кар.

Площадь S контакта алмазов с породой в зависимости от крупности их зерен дана в табл. 1.

Таблица 1

Крупность алмазов, шт/кар	Диаметр алмазов, мм	Площадь контакта $S, \times 10^{-4} \text{ см}^2$
10	2,10	16
20	1,80	14
30	1,50	12
60	1,25	10
120	1,00	8

Минимальные осевые нагрузки, рассчитанные по методике фирмы «Кристенсен» для алмазных коронок различных диаметров с учетом крупности алмазов и прочности пород, отражены в табл. 2.

Предел прочности породы на сжатие, кН/см ²	Крупность алмазов, шт/кар	Осевая нагрузка, Н, на коронку диаметром, мм			
		46	59	76	93
20	30	3 200	5 200	6 600	9 500
	60	5 400	8 750	11 000	16 000
	90	7 300	10 850	15 000	22 000
26	30	4 200	6 800	8 600	12 500
	60	7 000	11 400	14 500	21 000
	90	9 250	15 000	19 000	27 500
30	30	4 750	7 850	9 900	14 400
	60	8 100	13 000	16 750	24 000
	90	10 700	17 300	22 000	31 700
50	30	7 850	13 000	16 500	24 000
	60	13 500	21 700	28 000	40 000
	90	16 900	29 000	36 700	53 000

Фирмы «Деймонд Боарт» (Бельгия) и «Атлас Копко» (Швеция) считают целесообразным определять осевые нагрузки для однослойных коронок по удельным нагрузкам на алмазы с учетом их износостойкости: 30 Н — для низкосортных алмазов и 50 Н — для высокосортных.

Для импрегнированных коронок зарубежные фирмы рекомендуют создавать осевые нагрузки исходя из удельного давления на 1 см² площади торца коронки в пределах 300—1500 Н/см² с учетом твердости пород.

Комплексным показателем эффективности разрушения породы под влиянием осевой нагрузки и вращения инструмента считается величина углубления коронки за один оборот. Для однослойных коронок этот показатель в зависимости от физико-механических свойств породы должен находиться в пределах 0,16—0,03 мм/об; для импрегнированных 0,1—0,02 мм/об. Этот показатель может служить объективным критерием оптимизации и автоматического регулирования параметров режима бурения и отражать их суммарное влияние на скорость разрушения породы.

Рациональные значения осевой нагрузки и частоты вращения следует устанавливать путем поочередного увеличения их в допустимых пределах при сохранении заданного для данной породы углубления на один оборот. С этой целью необходимо замерять мгновенную скорость бурения.

Фирма «Бойлс Браз Дрилинг» рекомендует создавать удельную промывку, равную 0,7 л/мин на 1 см² площади торца коронки. Другие зарубежные фирмы считают, что при бурении размытых пород следует ориентироваться на скорость восходящего потока 0,3—0,5 м/с.

Излишняя подача промывочной жидкости на забой вызывает рост потерь давления в бурильных трубах и неоправданное завышение мощности насосов. Слишком большие скорости потока жидкости способствуют размыву керна и снижению прочности алмазных коронок.

Для наклонных и горизонтальных скважин скорость потока промывочной жидкости должна быть несколько меньше, чем для вертикальных.

Величина подачи промывочного насоса за рубежом рассчитывается по формуле $Q=qS$, где Q — подача насоса, л/мин; q — удельный расход промывочной жидкости на единицу площади зазора между бурильными трубами и стенками скважины, л/(мин·см²); S — площадь затрубного зазора, см². Удельный расход изменяется в пределах 1,8—3 л/(мин·см²), а в среднем 2,4 л/(мин·см²), при бурении с нагнетательной обратной промывкой его можно принять равным 2,8 л/(мин·см²).

Технология бурения твердосплавными коронками

Нагнетательная обратная промывка по всему стволу скважины при бурении твердосплавными коронками применяется весьма редко.

При бурении твердосплавными коронками с обратной промывкой должен соблюдаться почти такой же режим бурения, как при прямой промывке. Исключение составляет расход промывочной жидкости; при обратной промывке он всегда выше, чем при прямой. Оптимальный расход жидкости при данном способе бурения определяют исходя из удельного расхода ее на 1 см диаметра коронки (в л/мин). Окружная скорость коронки может колебаться в пределах 0,6—2 м/с.

Оптимальную осевую нагрузку на забой при бурении твердосплавными коронками с обратной промывкой рассчитывают исходя из удельного давления, приходящегося на один основной резец коронки с учетом прочности твердосплавных резцов. Общая нагрузка на коронку $P=mr_{уд}$, где m — число основных (объемных) резцов; $r_{уд}$ — удельное давление на один резец, Н.

При выборе частоты вращения необходимо учитывать глубину бурения, диаметр коронки и технические данные бурового станка.

Для уменьшения потерь промывочной жидкости в скважине следует применять коронки с более длинными торцевыми и боковыми резцами, а также с дополнительными прорезами в их торцевой части для прохода промывочной жидкости.

Для бурения мягких пород используют ребристые коронки типа М. Для бурения пород V—IX категорий по буримости применяют различные твердосплавные коронки типа СМ, СТ и СА.

При бурении в трещиноватых и абразивных породах необходимо снижать окружную скорость и осевую нагрузку.

Для заклинивания керна заклиночный материал обычно не засыпают в скважину. Для этого достаточно остановить работу

пасоса. Буровой шлам и обломки керна, находящиеся во взвешенном состоянии в промывочной жидкости, осаждаются, заклинивают керн в колонковой трубе. При промывке скважин водой на заклинивание керна затрачивается не более 15—20 мин, а при промывке скважин глинистым раствором — до 30 мин. При бурении скважин глубиной более 1000 м время на заклинивание керна увеличивается до 1—1,5 ч.

Керновый материал обычно бывает в виде мелких кусков породы в смеси с крупными. Если по каким-либо причинам керн был плохо заклинен в колонковой трубе или потерян в скважине при подъеме бурового инструмента, то для его поднятия в скважину спускают зубчатку.

В процессе бурения скважин с обратной промывкой технический персонал, обслуживающий буровой станок, постоянно следит за изливом промывочной жидкости из скважины в циркуляционную систему через отводной шланг, закрепленный на сальнике-вертлюге. Скапливаясь внутри колонкового снаряда, шлам и кусочки керна могут перекрывать отверстие в колонковом переходнике или засорять бурильную колонну. При большом скоплении шлама и керна в колонковой трубе излив жидкости через отводной шланг заметно снижается и углубление скважины прекращается. В этом случае буровой снаряд поднимают на поверхность.

Технико-экономические показатели

Нагнетательная обратная промывка впервые была применена в Кривбассе при бурении скважин стальной дробью-сечкой. При этом в начале применения обратной промывки на ряде скважин проводили хронометражные наблюдения.

Бурение скважин с обратной промывкой производили с помощью станков ЗИФ-300 при осевой нагрузке на забой 5,5—7 кН с частотой вращения бурового снаряда 182 и 277 об/мин. Промывочной жидкостью служил нормальный глинистый раствор. В начале рейса в скважину подавали промывочной жидкости 80—85 л/мин, а в конце — 40—45 л/мин для коронок диаметром 110 мм. На рейс засыпали в зависимости от крепости пород от 3 до 5 кг стальной дробь-сечки. Бурение производили по породам X, XI и XII категорий.

С целью установления преимуществ обратной промывки перед прямой после каждого рейса бурения с обратной промывкой производили один-два рейса бурения с прямой промывкой. Сравнительные результаты отражены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что при бурении с обратной промывкой механическая скорость бурения выше на 6—14 %; износ коронок на 1 м проходки и за 1 ч чистого бурения приблизительно такой же, как при бурении с прямой промывкой. Расход дробь за 1 ч чистого бурения выше на 20—80 %, выход керна выше в 1,2—5,9 раза. Увеличение расхода дробь при обратной промывке объясняется

Таблица 3

Параметры	Скв. 6774		Скв. 7420		Скв. 7228		Скв. 7690		Скв. 9017	
	Вид промывки									
	прямая	обратная	прямая	обратная	прямая	обратная	прямая	обратная	прямая	обратная
Число рейсов	3	3	5	8	4	5	7	9	21	21
Пробурено, м	1,73	1,61	3,90	4,92	6,30	4,59	5,58	6,04	22,41	22,72
Время чистого бурения, ч	11,50	12,0	24,25	26,65	15,41	10,78	29,50	30,90	83,0	76,0
Механическая скорость бурения, м/ч	0,15	0,134	0,161	0,184	0,398	0,425	0,189	0,195	0,127	0,130
Расход дробы за рейс, кг	5,50	4,70	5,0	5,10	4,10	4,50	4,0	4,0	—	—
на 1 м проходки, кг	3,20	2,87	6,40	8,30	2,70	4,80	5,10	5,95	—	—
за 1 ч чистого бурения, кг	0,48	0,39	1,03	1,53	1,07	2,04	0,95	1,16	—	—
Износ коронок за рейс, мм	77,0	78,0	100,0	92,5	68,4	65,6	117,7	115,5	—	—
на 1 м проходки, мм	133,0	142,0	148,5	150,5	68,4	65,6	117,7	115,5	—	—
за 1 ч чистого бурения, мм	20,0	19,0	23,05	27,8	27,8	27,8	22,3	22,6	—	—
Выход керна, %	90,0	55,0	63,60	74,2	16,40	97,0	78,0	92,0	19,0	85,0
Категория пород по буримости	XII	XII	XI	XI	X	X	XI	XI	X	X

большой скоростью выноса ее с забоя в колонковую трубу восходящим потоком промывочной жидкости.

Обратную промывку в Кривбассе сначала применяли при бурении скважин небольшой глубины (300—500 м). Позднее возникла необходимость в использовании ее при бурении скважин глубиной 1000—1600 м.

На полиметаллическом месторождении Бестюбе в Казахстане (по инициативе автора книги) из-за отсутствия стальной дробь-сечки, с целью повышения выхода керна, было проведено бурение скважин с применением чугунной дробь. Герметизацию устьев скважин при бурении с обратной промывкой осуществляли превентором криворожского типа, который закреплялся на обсадных трубах с помощью резьбы.

Результаты этого бурения по двум скважинам, на которых в тех же условиях применялась прямая промывка, отражены в табл. 4.

Таблица 4

Номер сква- жины	Вид промывки	Категория пород	Диаметр сква- жины, мм	Интервал бурения, м		Проходка, м	Средняя про- ходка за рейс, м	Выход керна	
				От	До			м	%
71	Прямая	X—XI	130	241,80	249,00	6,10	0,8—1,2	1,6	26,2
48	Обратная	X—XI	130	129,00	136,50	7,50	1,6—2,0	7,30	97,3
40	Прямая	X—XI	130	118,40	146,15	27,35	0,6—1,7	3,30	12,1
			130, 110	200,00	319,40	119,40	0,6—1,7	46,05	38,5
74	Обратная	X—XI	130	{ 133,40	138,40	5,00	1,40—2,5	125,1	91,6
				{ 183,70	315,20	131,50			

Из табл. 4 видно, что выход керна по полезному ископаемому составлял при прямой промывке от 12,1 до 38,5 %, а при обратной — от 91,6 до 97,3 %. В связи с минимальной разработкой скважин дробью при обратной промывке уменьшилось искривление скважин.

В результате применения обратной промывки в условиях свинцового месторождения в Киргизии [2] выход керна увеличился в среднем до 81,1 % против 40 % при бурении чугунной дробью с прямой промывкой.

В Кривбассе бурение алмазными коронками с нагнетательной обратной промывкой было впервые применено на скв. 11281 в интервале 1014,82—1019,89 м по трещиноватым горным породам. При подходе к этому интервалу сначала использовали стальную дробь-сечку и прямую промывку. Выход керна при этом составлял 19 %. Затем скважину бурили алмазными коронками с прямой промывкой. Выход керна был менее 50 %. При переходе на обратную промывку получен выход керна 70,4 %.

Обратную промывку приняли при бурении алмазными коронками разведочных скважин. При бурении скважин мелкоалмаз-

ными коронками типа АК₁₂-46 и МВ1-46 с применением станка ГП-1 механическая скорость бурения с нагнетательной обратной промывкой оказалась на 15,4—38,4 % выше, чем при прямой промывке. Увеличение скорости бурения объясняется тем, что поток промывочной жидкости значительно быстрее уносит разрушенную породу с забоя скважины и создает нормальные условия для работы коронки. Кроме того, в этом случае под торец алмазной коронки не могут попасть частицы бурового шлама из колонковой трубы, на переизмельчение которых при бурении с прямой промывкой расходуется значительное количество энергии и времени.

Фракционный состав шлама показывает, что при обратной промывке частиц шлама размером менее 0,25 мм было только 70 %, а при прямой до 96 % [29]. При обратной промывке шлам оказался значительно крупнее, чем при прямой. Условия движения частиц в колонковой трубе почти исключают возможность их повторного измельчения.

При бурении мелкоалмазными коронками М6 диаметром 59 мм по ороговикованным порфиридам X—XI категорий по буримости получены следующие результаты. При прямой промывке проходка на коронку составила 9 м, а при обратной — 22,9 м, т. е. при обратной промывке она в 2,5 раза выше, чем при прямой.

При прямой промывке на торцах многих алмазных коронок появляются мелкие борозды, т. е. возникает аномальный износ, который объясняется попаданием под торец коронки крупных кусков породы размером 2—4 мм. В этом случае матрица, твердость которой невелика, подвергается местному разрушению. Наличие под торцом коронки кусочков породы приводит к возникновению сильных вибрационных нагрузок и ухудшению условий работы алмазных коронок. Обратная промывка создает более благоприятные условия для работы коронки на забое.

На Савинском месторождении в 1972 г. был применен алмазный способ бурения с обратной промывкой из подземных горных выработок [25]. Бурение осуществляли станком ГП-1 и коронками 01АЗДЗОК20 диаметрами 36 и 46 мм. Для герметизации устья скважин применяли превентор конструкции ЗабНИИ (см. рис. 9).

Сравнительные показатели бурения при прямой и обратной циркуляциях на Савинском месторождении приведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что при бурении с обратной промывкой коронками диаметрами 36 и 46 мм механическая скорость возросла соответственно в 1,7 и 1,1 раза; проходка на коронку — в 1,3 и 1,2 раза; стоимость 1 м бурения снизилась на 3,98 и 1,28 руб. (на 32,1 и 11,4 %). Экономический эффект от применения запланированного объема буровых работ с применением обратной промывки составил около 5000 руб.

В Киргизии на свинцовом месторождении при бурении твердосплавными коронками пород VIII—IX категорий в зонах гидротермального изменения порфирированных гнейсов выход керна

Таблица 5

Показатели	Вид промывки			
	прямая	обратная	прямая	обратная
Диаметр алмазных коронок, мм	36	36	46	46
Средняя категория пород по буримости	9,2	9,2	8,6	8,8
Проходка, м	78,6	25,2	198	38
Отработано коронок, шт.	6	4	25	4
Средняя механическая скорость бурения, м/ч	0,9	1,54	0,86	0,95
Средняя проходка за рейс, м	2,46	3,15	2,53	2,72
Проходка на коронку, м	4,9	6,3	7,9	9,5
Выход керна, %	80	98	—	—
Стоимость 1 м бурения, руб.	12,38	8,4	11,23	9,55

не превышал 50—60 %. Применение обратной промывки позволило увеличить его до 81 % [11].

Все большее применение находит бурение скважин алмазными коронками с обратной промывкой за рубежом. Так, в Южной Африке на шахте Вест-Витис этим способом пробурено около 30 000 м. Проходка на одну мелкоалмазную коронку увеличилась при этом на 37,25 %, износ алмазов снизился на 37,5. Общая стоимость расхода алмазов уменьшилась на 35 % по сравнению с расходом в случае прямой промывки.

В результате обобщения технико-экономических показателей были установлены следующие преимущества нагнетательной обратной промывки перед прямой:

за счет сокращения времени на вспомогательные операции (повторные спуски зубчаток за керном, сокращение времени на заклинивание керна и др.) увеличиваются рейсовая и механическая скорости бурения;

выход керна при обратной промывке в сложных геологических условиях возрастает в несколько раз, наиболее резко по тем породам, по которым при прямой промывке не превышает 10—20 %. В Кривбассе в этих условиях выход керна составил 86 %; срок службы колонковых труб при обратной промывке в 3—5 раз выше, чем при прямой;

снижается возможность возникновения аварий в случаях неожиданного отключения электроэнергии, так как в скважинах, бурящихся с обратной промывкой, отсутствует породный и дробовой шлам;

снижается мощность на вращение бурового снаряда из-за отсутствия шлама в затрубном пространстве между стенками скважины и колонковым снарядом;

не возникает самозаклинивания керна даже по трещиноватым породам;

уменьшаются зенитное и азимутальное искривления скважин

в связи с меньшей их разработкой (особенно при дробовом бурении);

исключается возможность прихвата бурового снаряда шламом, так как он находится внутри колонковой трубы и бурильных труб.

К недостаткам нагнетательной обратной промывки можно отнести следующие:

нельзя применять нагнетательную обратную промывку в скважинах с полным поглощением промывочной жидкости, так как в этом случае керн не может быть поднят с забоя и находится внутри колонковой трубы во взвешенном состоянии;

задаливается дополнительное время на оборудование устья скважины (крепление скважины обсадными трубами, цементирование затрубного пространства, монтаж сальника для обратной промывки (превентора));

увеличивается расход обсадных труб, цемента и других материалов, которые требуются для герметизации устья скважины;

на герметизацию устья скважины превентором задалживается от 20 до 60 мин в рейсе;

расход дробы при бурении с обратной промывкой выше, чем с прямой;

расход промывочной жидкости значительно выше, чем при прямой промывке;

чаще, чем при прямой промывке, возникают катастрофические потери промывочной жидкости в скважинах.

Одним из основных недостатков является необходимость крепления устья скважины обсадными трубами и последующее цементирование затрубного пространства с целью герметизации устья. Этот недостаток можно в значительной степени устранить, если применять приспособления (см. рис. 8) для герметизации затрубного пространства.

Одна из причин повышенного расхода промывочной жидкости в скважине при бурении с обратной промывкой — засорение внутренних каналов соединений бурильных труб крупными кусками керна. Возникающее при этом повышенное давление на забое и в затрубном пространстве вызывает потерю промывочной жидкости. Длина рейсов при этом сокращается до 0,6—1,3 м. Чтобы устранить этот недостаток, в Кривбассе на колонковом переходнике приваривали проволочную сетку. Хотя она и способствует предохранению бурильных труб от засорения, но в то же время может засоряться сама.

Для устранения этого недостатка был применен специальный переходник с бурильных труб на колонковую, снабженный трубкой с продольными пазами (рис. 10). Ширину паза переходника выбирают в зависимости от размера минимального проходного отверстия в колонне бурильных труб и обычно принимают равной 0,4—0,6 диаметра отверстия соединительного ниппеля. При правильно подобранной ширине паза в трубке переходника крупные частицы керна задерживаются в колонковой трубе, а проходящий

через пазы керновый материал увлекается потоком промывочной жидкости и свободно транспортируется по внутреннему каналу колонны буровых труб.

Чтобы снизить расход промывочной жидкости при бурении с нагнетательной обратной промывкой, необходимо выполнять следующие мероприятия:

применять коронки с большей площадью вырезов промывочных каналов на их торцах, с большими зазорами между стенкой скважины и короночным кольцом и между керном и короночным кольцом;

увеличить проходные каналы в переходниках с колонковой трубы на буровые трубы;

увеличить внутренний диаметр буровых труб;

уменьшить высоту рабочей штанги над устьем скважины;

увеличить проходные каналы в сальнике-вертушке и в сбрасывающем шланге.

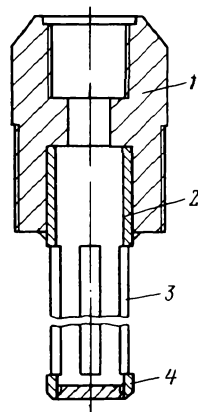


Рис. 10. Переходник с буровых труб на колонковую:

1 — корпус переходника; 2 — труба; 3 — продольные пазы; 4 — пробка

Причины повышенного расхода промывочной жидкости при бурении с нагнетательной обратной промывкой

При бурении с нагнетательной обратной промывкой в скважину подается большее количество промывочной жидкости, чем при бурении с прямой промывкой. При этом и давление на манометре насоса выше, чем при прямой промывке. При бурении с обратной промывкой нередко возникают полные потери и поглощения промывочной жидкости в скважинах, в то время как при бурении с прямой промывкой промывочная жидкость выходит из скважин на поверхность. В основании по этой причине обратная промывка при бурении скважин применяется реже, чем прямая.

К основным причинам, вызывающим повышенный расход промывочной жидкости при бурении с нагнетательной обратной промывкой, можно отнести следующие.

1. При бурении с обратной промывкой в затрубном пространстве циркулирует чистая промывочная жидкость, что способствует очистке всех пустот и трещин на стенках скважины в пластах, способных поглощать промывочную жидкость. При прямой промывке в затрубном пространстве циркулирует жидкость, загрязненная частицами бурового шлама. Частишки шлама прилипают к стенкам скважины, перекрывают поры и трещины и этим способствуют уменьшению расхода промывочной жидкости при бурении.

2. Скважину с размещенным в ней буровым снарядом можно рассматривать как сообщающиеся сосуды, в которых жидкости с разными удельными весами занимают разные уровни. При

бурении скважин с обратной промывкой удельный вес жидкости внутри бурового снаряда значительно выше, чем в затрубном пространстве, как за счет разбуренной породы на забое, так и за счет размыва стенок скважины при движении жидкости в затрубном пространстве. Это способствует резкому увеличению гидравлических сопротивлений внутри бурового снаряда и, следовательно, увеличению потерь промывочной жидкости на забое при бурении с обратной промывкой.

3. При прямой промывке столб жидкости, находящийся в бурильных трубах, на 5—15 м выше столба жидкости в затрубном пространстве (см. рис. 4). Поэтому по закону сообщающихся сосудов жидкость, находящаяся в затрубном пространстве, должна сама выходить из скважины на поверхность. Исходя из того, что удельный вес жидкости в кольцевом пространстве (при этом способе промывки) выше, чем в бурильных трубах, можно условно считать, что гидравлические сопротивления в бурильных трубах и затрубном пространстве уравниваются друг друга.

При обратной промывке, наоборот, более высокий столб жидкости и с большим удельным весом находится в бурильных трубах. Естественно, что это должно вызывать повышенный расход промывочной жидкости на забое скважины. А так как выдавливание столба жидкости на поверхность через бурильные трубы осуществляется за счет давления, создаваемого насосом, установленным на поверхности, то это давление распространяется на стенки по всему стволу скважины, вызывая потери жидкости не только на забое, но и выше во всех водопоглощающих пластах.

4. При прямой промывке трещиноватый керн, размещенный внутри колонковой трубы, прижимается к забою столбом жидкости, находящимся в бурильных трубах, и, попадая под торец буровой коронки, переизмельчается. При обратной промывке этот керн находится во взвешенном состоянии внутри колонковой трубы. На его удержание во взвешенном состоянии нужно затратить дополнительное гидравлическое сопротивление, зависящее от массы керна. При этом следует иметь в виду, что выход керна при обратной промывке значительно больший, чем при прямой.

5. Значительное сопротивление движению промывочной жидкости при бурении с обратной промывкой оказывает резкое сужение канала при переходе жидкости из колонковой трубы в бурильные трубы, т. е. в переходнике с колонковой трубы на штангу. Раздробленный керн, находящийся во взвешенном состоянии внутри колонковой трубы, может засорять отверстие в переходнике и этим вызывать резкое сопротивление движению промывочной жидкости.

6. За счет содержания в жидкости породного шлама при обратной промывке возникают более высокие гидравлические сопротивления, чем при прямой, во всех элементах бурового снаряда: коронке, колонковой трубе, штангах, соединениях штанг, сальнике-вертлюге.

7. При обратной промывке применяется сбрасывающий шланг,

по которому жидкость, поступающая с забоя, сбрасывается через сальник-вертлюг в циркуляционную систему. Длина этого шланга 10—16 м. При прямой промывке такой шланг не применяется. Естественно, что это создает дополнительное гидравлическое сопротивление движению промывочной жидкости.

Все причины повышенного расхода промывочной жидкости при бурении с нагнетательной обратной промывкой можно объединить в две группы; 1) очистка пустот и трещин на стенках скважины при движении незагрязненной промывочной жидкости в кольцевом пространстве; 2) значительное превышение гидравлических сопротивлений движению жидкости внутри бурового снаряда над этими сопротивлениями в кольцевом пространстве.

§ 2. НАГНЕТАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА С НЕПРЕРЫВНЫМ ПОДЪЕМОМ КЕРНА ПО ОДИНАРНОЙ КОЛОННЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

При бурении скважин с обратной промывкой можно осуществлять гидравлическую транспортировку керна с забоя на поверхность.

На рис. 11 изображена такая схема [5]. Промывочная жидкость из отстойника 4 насосом 5 подается в затрубное пространство между стенками скважины и бурильными трубами 2, оmyвая забой, она (через колонну бурильных труб 1, 2) поступает в их внутренний канал 2 и вместе с керном 3 движется на поверхность через сальник-вертлюг 8 и отводной шланг 9 в желоб 10, откуда керн отбирают и складывают последовательно в ящики. Устье скважины герметизируют с помощью превентора 6, укрепленного на обсадной трубе. Вращение бурового снаряда осуществляется ро-
тором 7.

Отличие этой схемы от схемы (см. рис. 1, б) заключается в следующем: диаметр бурильных труб 2 увеличен так, чтобы по внутреннему каналу мог свободно проходить керн 3; изменена конструкция сальника-вертлюга 8, увеличен диаметр отводного шланга 9.

Данная схема обратной промывки применяется в зарубежной практике [5].

Бурение скважин по описанной схеме улучшает качество оп-

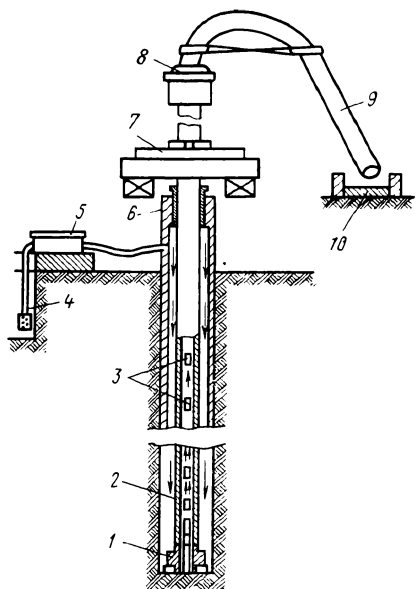


Рис. 11. Схема обратной промывки с непрерывным подъемом керна по одинарной колонне бурильных труб [5]

робования и уменьшает искривление скважин. Схема обладает всеми достоинствами и недостатками, присущими схеме обратной промывки с прерывным подъемом керна.

Для выноса керна с забоя восходящим потоком промывочной жидкости необходимо, чтобы скорость восходящего потока была не менее 0,6 м/с и при прочих равных условиях увеличивалась с ростом плотности породы, диаметра керна и уменьшением плотности и вязкости глинистого раствора.

Схема неприменима в условиях полного поглощения промывочной жидкости, которое возникает чаще, чем при бурении с прерывным подъемом керна. При встрече поглощающих пород при бурении скважин по описанной схеме необходимо изолировать зоны поглощения или путем перекрытия поглощающих пластов обсадными трубами с обязательной цементацией затрубного пространства, или путем тампонажа с применением быстротвердеющих смесей (БСС). С целью уменьшения потерь промывочной жидкости в стенках скважины необходимо добиваться того, чтобы скорость жидкости в кольцевом пространстве и бурильных трубах была приблизительно одинаковой.

В СССР обратная промывка с непрерывным выносом керна по одинарной колонне бурильных труб не нашла применения из-за сложности борьбы с поглощением промывочной жидкости.

§ 3. НАГНЕТАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА С НЕПРЕРЫВНЫМ ПОДЪЕМОМ КЕРНА ПО ДВОЙНОЙ КОЛОННЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Повышение интенсивности поглощения и засорение керна частицами вышележащих пород [32] — основные недостатки бурения с закачиванием жидкости непосредственно в затрубное пространство. Стремление устранить эти недостатки и использовать преимущества бурения с обратной промывкой и гидравлическим выносом керна и шлама привело к созданию двойных колонн бурильных труб, при использовании которых жидкость поступает к забою между наружной и внутренней колоннами бурильных труб, а поднимается на поверхность по центральному каналу внутренних труб. Выносимые на поверхность промывочной жидкостью керн и шлам полностью защищены от засорения шламом вышележащих пород.

Первые сведения о разработке комплекса оборудования и инструмента для бурения скважин на нефть и газ с выносом керна обратным потоком промывочной жидкости по внутреннему каналу двойной колонны бурильных труб были опубликованы в США [5]. В дальнейшем, кроме бурения скважин на нефть и газ, обратный поток промывочной жидкости начал использоваться для выноса керна при бурении гидрогеологических и инженерно-геологических скважин, а также при разведке россыпных месторождений.

На рис. 12 изображен один из вариантов схемы создания нагнетательной обратной промывки по двойной колонне бурильных

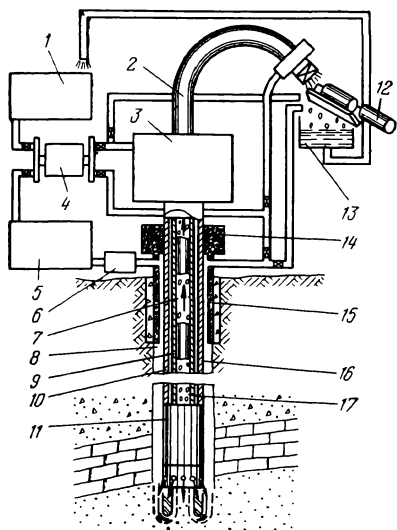


Рис. 12. Схема создания нагнетательной обратной промывки по двойной колонне бурильных труб и обвязки насосов [5]:

1 — емкость для легкого раствора; 2 — отводной шланг; 3 — сальник-вертлюг; 4 — главный насос; 5 — емкость с тяжелым глинистым раствором; 6 — вспомогательный насос; 7 — промывочный раствор с частицами разрушенной породы; 8 — затрубное (кольцевое) пространство; 9, 12 — керн; 10 — кольцевое пространство двойных труб; 11 — наддолотный переходник с керноломом; 13 — вибросито; 14 — герметизирующая головка (превентор); 15 — обсадные трубы; 16 — бурильные трубы; 17 — керноприемная труба

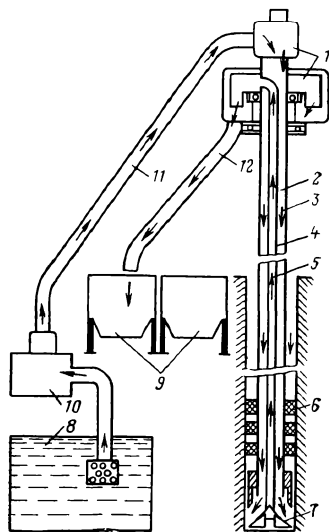


Рис. 13. Схема создания нагнетательной обратной промывки по двойной колонне бурильных труб с пакерным устройством [4]:

1 — специальный сальник; 2 — наружная бурильная колонна; 3 — кольцевой зазор между бурильными трубами; 4 — внутренняя бурильная колонна; 5 — направление потока пульпы; 6 — пакер; 7 — буровой наконечник; 8 — бак для чистой воды; 9 — бак-отстойник; 10 — насос; 11 — нагнетательный шланг; 12 — сливной шланг

труб и обвязки насосов на поверхности, применяемой за рубежом [5].

Промывочная жидкость из отстойника 1 нагнетается насосом через сальник-вертлюг 3 в кольцевой зазор 10 между двойной колонной бурильных труб 16. На забой жидкость подается через отверстия в переходнике 11 наружной бурильной трубы. Омыв забой, она поступает во внутреннюю бурильную трубу и (через сальник-вертлюг 3 и отводной шланг 2) вместе с керном 12 подается на вибросито 13.

Устье скважины герметизируется превентором 14, укрепленным на обсадных трубах.

Для получения нагнетательной обратной промывки в затрубное кольцевое пространство (между стенками скважины и бурильной колонной) через превентор 14 заливают утяжеленный глинистый раствор, который из емкости 5 подается в затрубное про-

странство насосом 6. Жидкость, подаваемая к забою в зазоре между бурильными трубами, по каналам в переходнике, размещенном над коронкой или в самой коронке, выходит на несколько миллиметров выше режущей части и поступает в кольцевой зазор между стенками скважины и буровым наконечником.

На забое глинистый раствор обогащается шламом, захватывает куски керна и поднимается на поверхность по внутренней бурильной колонне.

Выбуренный керн выносится до сальника-вертлюга 3 в виде отдельных кусков длиной 12—15 см. От сальника-вертлюга керн транспортируется по шлангу 2 с радиусом изгиба в несколько метров на вибросито и желоба, откуда его выбирают и укладывают в деревянные ящики в определенной последовательности.

Наддолотный переходник 11 имеет наружный диаметр, равный диаметру долота по режущей кромке. Он играет роль пакера и наряду с утяжеленным глинистым раствором, закачиваемым в затрубное пространство, и герметизирующим превентором, установленным над устьем скважины, создает дополнительное сопротивление течению жидкости вверх по затрубному пространству, т. е. по схеме прямой промывки. Этому также способствует небольшой кольцевой зазор между колонной бурильных труб и стенками скважины.

Экспериментальным путем установлено, что для получения одинаковых скоростей восходящего потока промывочной жидкости при бурении с прямой промывкой необходима мощность на преодоление гидравлических сопротивлений в 40 раз большая, чем при бурении с обратной промывкой по двойной колонне бурильных труб [5]. Общие же гидравлические сопротивления при бурении с прямой промывкой на глубину до 300 м больше в 5,4 раза, а расход жидкости — в 7,3 раза, чем при бурении с двойной колонной бурильных труб.

На рис. 13 изображена схема создания нагнетательной обратной промывки по двойной колонне бурильных труб с пакерным устройством.

Из бака 8 насосом 10 чистая вода нагнетается по шлангу 11 в специальный сальник-вертлюг 1, из него поступает в кольцевой зазор 3 между бурильными трубами и движется к забою. Благодаря пакерному устройству 6 вода не поднимается в кольцевом пространстве между стенками скважины и наружной колонной бурильных труб, а поступает вместе с выбуренным материалом во внутреннюю колонну бурильных труб и поднимается к сальнику-вертлюгу 1, из которого через сливной шланг 12 она сбрасывается в баки-отстойники 9.

По этому варианту работает установка КГК-100.

Буровое оборудование и инструмент

В СССР и за рубежом ведутся работы по созданию установок и бурового инструмента для бурения скважин с нагнетательной

обратной промывкой с использованием двойной колонны бурящих труб.

К 1960 г. в США была изготовлена и испытана опытная установка «Коредрилл» для бурения скважин в рыхлых и плотных осадочных породах на глубину до 750 м с диаметром бурения 121 м. Диаметр бурильных труб 114 мм, а получаемого керна — 50,8 мм [5]. Внутренний диаметр керноприемной внутренней трубы 63,5 мм.

В комплект этой установки входит четырехногая вышка высотой 11,5 м, изготовленная из труб диаметром 89 мм. Грузоподъемность вышки 4,5 кН. Силовой вертлюг имеет двигатель мощностью 14,7 кВт с возбудителем и контролем крутящего момента. Вращение бурильных труб осуществляется через редуктор. Кронблок, установленный на буровой вышке, имеет четыре ролика с четырьмя несущими струнами. Мощность привода лебедки 121,3 кВт.

Для создания циркуляции промывочной жидкости используется поршневой насос с поршнем диаметром 102 мм и длиной хода 152 мм. Насос работает удовлетворительно до глубины 1500 м.

Фирмой «Коре Рековери Инк» в 1966 г. разработана установка для бурения скважин глубиной до 900 м с применением двойной колонны бурильных труб и непрерывным отбором керна [5].

Установка состоит из двух блоков: главного и вспомогательного. В главный блок входят мачта, лебедка, двигатель внутреннего сгорания и гидравлические насосы. В передней части главного блока находится пульт управления. Мачта оснащена кронблоком и небольшим талевым блоком, который спарен совместно с силовым вертлюгом. Силовой вертлюг имеет гидравлический привод от масляного гидронасоса. Мачта установки поднимается и опускается с помощью гидравлических приспособлений и имеет систему подъема, использующую цепную передачу и привод силового вертлюга. При небольшой глубине бурения эта система подъема используется для создания осевой нагрузки на породоразрушающий наконечник.

В комплект бурового инструмента входят наружные трубы диаметром 114 мм и внутренние — с внутренним диаметром 57 мм. Вся нагрузка воспринимается наружными трубами, которые соединяются между собой с помощью резьбы. Внутренние трубы имеют безрезьбовые соединения.

В Техасе в 1960 г. была испытана буровая установка «Конкоре-2000», которая позволяет бурить нефтяные и газовые скважины с непрерывным выносом керна на поверхность [5]. Эта установка включает силовой гидравлический вертлюг, лебедку с дизельным приводом через турботрансформаторы, гидравлические манипуляторы для автоматического подъема, спуска и укладки труб.

Техническая характеристика установки «Конкоре-2000»

Предельная глубина бурения трубами $d=114,3$ мм,	
М	1000
Грузоподъемность мачты, кН	1238

Диаметр керна, мм	54
Привод	Дизельный мощностью 121,3 кВт
Вращатель	Подвижный с приводом от гидродвигателя
Частота вращения бурового снаряда, об/мин	До 235
Подача снаряда	Гидроцепная
Промывочный насос	Поршневой
Подача насоса при давлении 1,05 МПа, л/мин	416
Транспортная база	Большегрузная автомашина и трейлер
Скорость выноса керна и шлама выходящим потоком, м/с	3,05

На установке предусмотрена система, позволяющая эжектировать в циркулирующую жидкость воздух при проходке поглощающих горизонтов. Тяжелая жидкость может быть закачана через устьевой герметизатор. Этот раствор, не циркулирующий в скважине в процессе бурения, выполняет роль смазки, уменьшающей износ труб и трение их о стенки скважины.

Для создания нагнетательной обратной циркуляции применяется колонна концентрически расположенных двойных труб (рис. 14). Наружные трубы 2 соединяются между собой резьбовыми

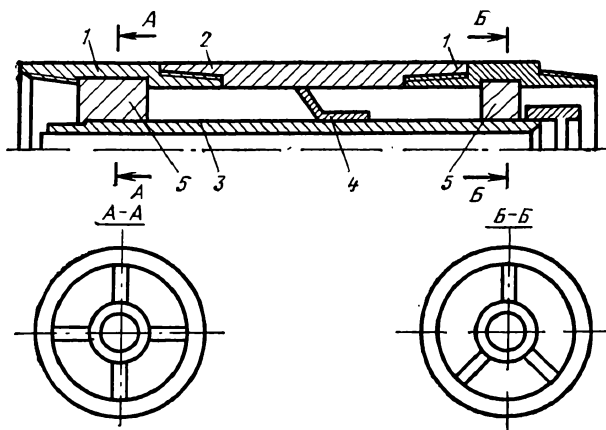


Рис. 14. Конструкция двойной колонны бурильных труб, применяемых на буровой установке «Конкор-2000» [5]

ми переходниками 1, а внутренние трубы 3 имеют безрезьбовые соединения с уплотнениями. В переходниках 1 имеются центрирующие ребра 5. Для лучшей центровки внутренних труб применяют пружинные центраторы 4. Такую двойную трубу легко собрать из обычных колонковых труб длиной около 6 м. Наружные трубы имеют диаметр 114,3 мм, толщину стенки 5,2 мм, наруж-

ный диаметр внутренних труб 57 мм. Трубы могут быть как стальными, так и алюминиевыми.

В случае применения стальных труб (масса 1 м — 26,8 кг) максимальная глубина бурения составляет 900 м, а алюминиевых (масса 1 м — 1,68 кг) — до 1350 м.

Двойные трубы собирают в колонну и подсоединяют к салынику-вертлюгу, перемещающемуся по направляющим, закрепленным внутри мачты. К вертлюгу подведены два шланга. По одному из них подается промывочный раствор в кольцевое пространство между трубами, а по другому отводятся шлам и керн вместе с вытекающим из скважины раствором.

Нижняя часть колонны снабжена специальным переходником с керноломом, установленным на расстоянии 150 мм от долота. Керн диаметром 50,8 мм, подходя к кернолому, подвергается действию бокового усилия, которое приводит к срыву керна.

При применении установки «Конкоре-2000» наиболее распространен диаметр 120,65 мм. В этом случае зазор между стенками скважины и колонной двойных труб составляет 3,2 мм. Несмотря на такой маленький зазор, отмечено только несколько прихватов на объем бурения 6000 м.

Установкой «Конкоре-2000» можно бурить как с выносом керна, так и сплошным забоем. При бурении сплошным забоем в скважину дополнительно на тросе спускают долото, которое обуривает центральную часть забоя, а буровой шлам выносится обратным потоком промывочной жидкости. Обслуживают установку трое рабочих: бурильщик, помбур и рабочий. Рабочий собирает керн, подающийся на сетку вибросита, и укладывает его в ящик. Бурят обычно только в дневную смену. На ночь колонну двойных труб оставляют в скважине.

Голландская фирма «Конрад Сток» в последние годы вместо одинарной применяет двойную колонну бурильных труб для бурения скважин с непрерывным выносом керна. Для облегчения массы двойной колонны внутренние трубы изготавливают из легких поливинил-хлоридных материалов. Специально для бурения с обратной промывкой фирма разработала многоцелевую полностью гидрофицированную установку «Комби-71» с подвижным вращателем, который перемещается по направляющим мачты установки и обеспечивает осевое усилие подачи вверх 40 кН, а вниз 25 кН. Максимальный крутящий момент на вращателе 5600 Н·м. Все узлы установки, включая мачту, вращатель, подъемный блок, привод, смонтированы на шасси автомашины.

Экспериментальные исследования по бурению скважин с непрерывным выносом керна по двойной колонне бурильных труб, которые были начаты в СССР в 1968 г. ВПО «Союзгеотехника», проводились с использованием установки ВВС-20DN (Великобритания). Установка имеет вращатель с проходным отверстием, позволяющим пропускать трубы диаметром 73 мм.

В ВПО «Союзгеотехника» созданы образцы комплекса технических средств для этого вида промывки. В состав комплекса

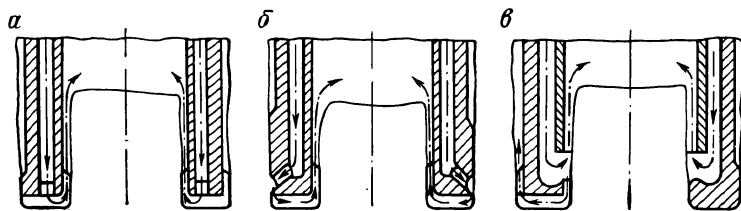


Рис. 15. Схемы конструкций коронок, применяемых при бурении с обратной промывкой по двойной колонне бурильных труб.

Выходы жидкости: а — в торец коронки; б — в кольцевой зазор; в — во внутреннюю колонну бурильных труб

входят твердосплавные коронки диаметром 76 мм, керналомные устройства, двойные бурильные трубы диаметром 73 мм, промывочный сальник-вертлюг и система обвязки устья скважины. Комплекс предназначен для бурения скважин глубиной до 100 м. Диаметр полученного керна 32 мм. Бурение производилось по схеме второго варианта, т. е. с применением только одного вида промывочной жидкости.

За рубежом обычно применяют коронки, обеспечивающие торцевую (рис. 15, а) или наружную (рис. 15, б) промывку забоя. При бурении этими коронками промывочная жидкость непосредственно контактирует со стенками и забоем скважины.

Поэтому при проходке возможны значительные поглощения жидкости в призабойной зоне. СКБ ВПО «Союзгеотехника» разработало конструкцию коронки, обеспечивающую внутреннюю боковую промывку забоя скважины (рис. 15, в). При такой конструкции коронки непосредственный контакт жидкости с забоем скважины отсутствует, поэтому потеря промывочной жидкости на забое резко сокращается. Циркуляция жидкости и вынос керна возобновлялись даже после встреч каверн, сопровождающихся провалами инструмента. При бурении с прямой промывкой в этих же условиях промывочная жидкость полностью терялась в скважине. Скорость подъема керна не связана с его длиной и чуть меньше скорости восходящего потока (1,2—1,6 м/с).

В СКБ разработан комплекс технических средств КГК-100 для бурения скважин с обратной промывкой и гидравлической транспортировкой керна по двойной колонне бурильных труб.

Общий вид комплекса КГК-100 дан на рис. 16. Комплекс предназначен для бурения скважин глубиной до 100 м в мягких породах II—IV категорий по буримости с прослоями пород V—VII категорий при поисково-съемочных работах, геологическом картировании и разведке месторождений полезных ископаемых. Выбуренная порода и керн улавливаются лотками керна-приемного устройства, смонтированного над передвижной емкостью, которая позволяет создать замкнутую систему циркуляции промывочной жидкости. Бурение скважин выполняется без креп-

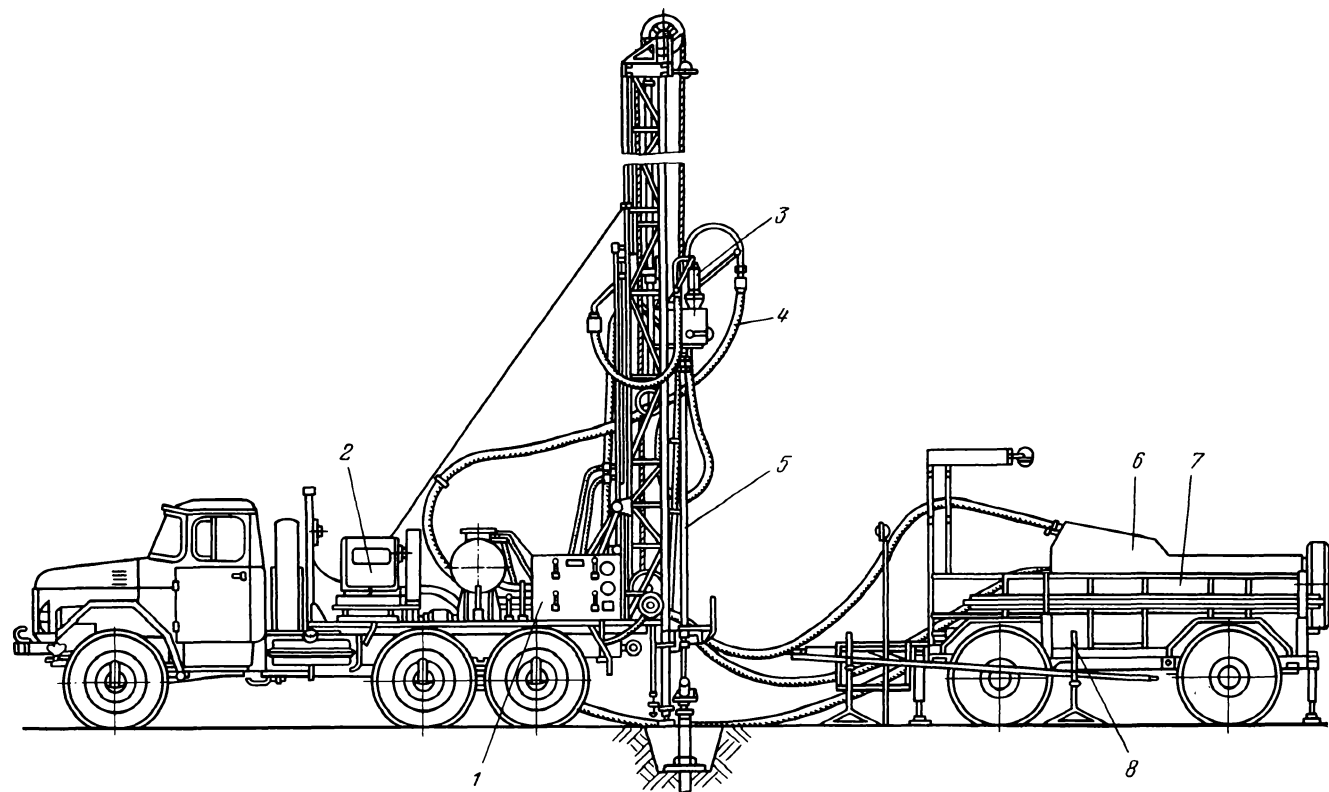


Рис. 16. Общий вид комплекса КГК-100 [4]:

1 — буровая установка; 2 — буровой насос; 3 — промывочный сальник; 4 — керноотводящий шланг; 5 — двойная бурильная колонна; 6 — керноприемное устройство; 7 — передвижная емкость; 8 — стеллаж для укладки бурильных труб

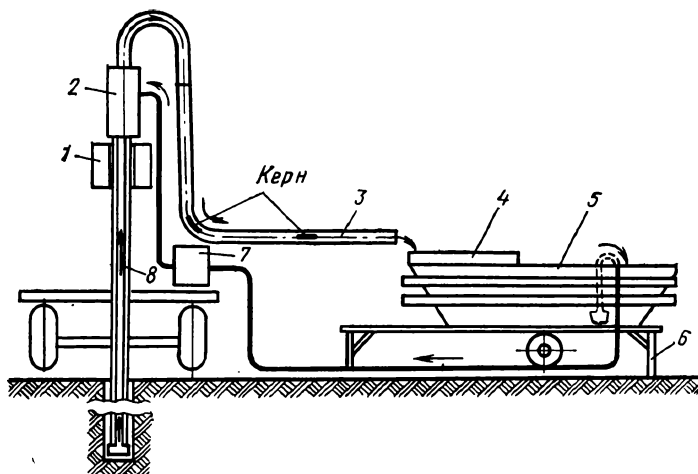


Рис. 17. Схема транспортировки керна на поверхность при бурении комплексом КГК-100 [4]:

1 — подвижный вращатель буровой установки УРБ-2А-2ГК; 2 — промывочный сальник; 3 — керноотводящий шланг; 4 — керноприемное устройство; 5 — прицеп — емкость; 6 — стеллаж; 7 — насос НБ4-320/63; 8 — двойная бурильная колонна

ления их обсадными трубами, так как стенки скважины не подвергаются эрозионному воздействию потока жидкости.

На рис. 17 показана схема транспортировки керна на поверхность при бурении комплексом КГК-100.

Техническая характеристика комплекса КГК-100

Буровая установка

Тип	УРБ-2А-2ГК
Тип вращателя	Подвижный с гидроприводом
Частота вращения, с^{-1} (об/мин)	2,3; 3,7; 5,4 (140, 225, 325)
Ход подачи, см	520
Усилие подачи, Н:	
вниз	31 000
вверх	56 500
Транспортная база	Автомобиль ЗИЛ-131

Буровой насос

Тип	НБ4-320/63
Подача, л/мин	32—320
Максимальное давление, МПа	6,3—3

Буровой инструмент

Двойная бурильная труба:

диаметр, мм:

наружной трубы (толщина стенок 6,5 мм)	73
внутренней трубы (толщина стенок 3 мм)	48
длина, мм	4000
масса, кг	1,7

Твердосплавные коронки

диаметр, мм:	
коронки	70 92
керн	34 38
Тип резцов	Г-53 ИКН

Передвижная емкость с керноприемным устройством

Тип прицепа	Двухосный, шасси ИАИЗ-75413
Объем вместимости, м ³	2,5
Число лотков для сбора керн, шт.	5
Общая длина труб, перевозимых на прицепе, м	120
Масса снаряженного прицепа, кг	2300

Установка может бурить без керн по описанной схеме обратной циркуляции. В этом случае в качестве бурового наконечника применяется шарошечное долото, а в шламовых отстойниках улавливается 100 % шлама от разбуренной породы.

Промывочный сальник установки КГК-100 снабжен подвижной подпружиненной внутренней трубкой, обеспечивающей герметичность соединений внутренних труб бурильной колонны.

Спуско-подъемные операции и наращивание производятся элеватором, смонтированным на шпинделе подвижного вращателя. Вращатель имеет устройство, предотвращающее возможность передачи вращения бурильных труб при отклонении корпуса элеватора от вертикали, что обеспечивает безопасность работ.

Система нагнетания и отвода промывочной жидкости включает нагнетательный и кернаотводящий рукава, а также вентиль, с помощью которого можно оперативно изменять направление потока жидкости в центральном канале колонны с обратной промывки на прямую.

Передвижная емкость служит для создания замкнутой циркуляции промывочной жидкости, перевозки бурильных труб и вспомогательного инструмента. Применение передвижной емкости в качестве отстойника исключило трудоемкие операции по его сооружению и ликвидации.

Технология бурения твердосплавными и алмазными коронками

В зависимости от конструкции двойной колонны бурильных труб последние одновременно (внутренняя и наружная) или последовательно спускают в скважину до забоя. Скважину забуривают по обычной технологической схеме с применением прямой промывки. После установления кондуктора устье скважины герметизируют превентором, после чего переходят на бурение с обратной промывкой.

Применяемый для промывки забоя легкий глинистый раствор обычно имеет небольшие плотность и вязкость, низкие тиксотропные свойства, большую водоотдачу и не обладает способностью образовывать глинистую корку.

В качестве облегченной промывочной жидкости может быть использована вода.

Тяжелый глинистый раствор, закачиваемый в затрубное пространство, кроме большой плотности ($1,5\text{--}1,6\text{ г/см}^3$), обладает тиксотропными свойствами, имеет небольшую водоотдачу и образует тонкую глинистую корку. Кроме того, в него добавляют химические вещества для повышения смазывающей способности, что снижает трение колонны бурильных труб о стенки скважины, а следовательно, ее вибрацию и износ [5].

Для доставки керна к устью по внутренней колонне бурильных труб скорость восходящего потока промывочной жидкости должна быть от 1 до 3 м/с.

При бурении до глубин 600—650 м в скважину подается около 420 л/мин промывочной жидкости под давлением 10,5 МПа, что обеспечивает вполне удовлетворительный процесс бурения и выноса керна со скоростью 90 м/мин при наружном диаметре алмазной коронки 120,5 мм и внутреннем 50,8 мм (внутренний диаметр труб 57 мм).

Выходящий вместе с промывочной жидкостью керн попадает на вибросито, которое расположено так, что бурильщик с пульта управления может свободно достать его. Это позволяет вести непрерывный контроль за разбуриваемыми породами.

Для удержания керна во взвешенном состоянии и выноса его на поверхность при всех прочих равных условиях скорость восходящего потока промывочной жидкости должна быть больше, чем больше удельный вес горной породы, меньше диаметр керна, а также ниже плотность и вязкость раствора. Для снижения гидравлических сопротивлений при прокачивании промывочной жидкости стремятся достичь одинаковой скорости восходящего и нисходящего потоков за счет равных площадей сечений гидравлических контуров.

Инструмент из скважины поднимают только при полном износе породоразрушающего наконечника. При наращивании бурильной колонны его не приподнимают над забоем.

При поглощении промывочной жидкости целесообразно в затрубное пространство закачивать специальный глинистый раствор с наполнителем, что снижает расход жидкости, и в большинстве случаев поглощение полностью прекращается, так как тампонирующая способность раствора с добавлением наполнителя увеличивается в несколько раз. Если эти меры не дают возможности восстановить циркуляцию промывочной жидкости, скважину цементируют. В крайнем случае прибегают к цементированию скважины с оставлением колонны труб.

При бурении в геологических условиях, где наблюдается интенсивное естественное искривление и обрушение ствола скважины, колонну бурильных труб стабилизируют, т. е. через определенные интервалы устанавливают стабилизаторы, играющие роль расширителей. Стабилизаторы армируются твердосплавными резцами. Это дает возможность выбуривать колонну труб в случае обвала

стенок скважины. Циркуляция промывочной жидкости при этом не прекращается.

Вращение бурильным трубам обычно передается от силового вертлюга через коробку скоростей. Частота вращения на установке «Коредрилл» (США) изменяется от 30 до 500 об/мин и регулируется в процессе бурения в зависимости от проходимых горных пород.

Бурение осуществляется алмазными или твердосплавными коронками при осевой нагрузке на забой от 9 до 45 кН. Колонну наращивают обычным способом по мере углубления скважины.

При бурении по сланцам установкой фирмы «Коре Рековери Инк» создавали нагрузку от 23 до 27 кН на алмазную коронку диаметром 120,5 мм. При этом достигнута скорость бурения 12 м/ч.

На полигоне СКБ Мингео СССР при бурении с обратной промывкой с использованием двойной колонны бурильных труб применяли следующие технологические режимы: проходка скважин по четвертичным отложениям IV—VII категорий буримости при частоте вращения инструмента 150—250 об/мин; осевая нагрузка на забой 2,5—4 кН; расход промывочной жидкости 80—140 л/мин. При бурении по более крепким породам нагрузка на забой возрастала до 12 кН, а расход жидкости — до 200 л/мин. Потери жидкости в скважине при этом составляли 20—30 %. Давление на манометре насоса при подаче его 200 л/мин на глубине 50 м равнялось 1,7 МПа.

В Северо-Казахстанском ТГУ использовали комплекс КГК-100 для бурения скважин глубиной до 100 м. По породам II—IV категорий с пропластками пород V—VII категорий бурили твердосплавными коронками диаметрами 76, 84 и 92 мм конструкции СКБ ВПО «Союзгеотехника». Твердосплавными коронками с расширительными ребрами бурили породы II—V категорий, склонные к обрушению и вспучиванию.

При прохождении пород VII—X категорий были испытаны десять опытных алмазных коронок О5В конструкции ЦНИГРИ [8].

Бурение с гидравлической транспортировкой керна твердосплавными и алмазными коронками осуществляли на режимах, приведенных в табл. 6.

Указанные в табл. 6 факторы режима бурения соответствуют наибольшей механической скорости твердосплавными и опытными алмазными коронками. Процесс бурения контролировался по изменению крутящего момента на вращателе установки и усилия, развиваемого механизмом подачи. Нормальному процессу углубления в интервале 0—100 м соответствовало постепенно увеличивающееся значение крутящего момента от 200 до 700 Н·м. В случае превышения указанных величин производили расхаживание инструмента, что вызывало снижение нагрузки и уменьшало частоту вращения.

При бурении иногда возникало заклинивание керна в коронке, бурильных трубах, промывочном сальнике, керноотводящем шлан-

Таблица 6

Породы	Категория пород	Крутящий момент, Н·м	Частота вращения снаряда, об/мин	Осевая нагрузка на забой, кН	Количество промывочной жидкости, л/мин	Величина углубления между расхаживанием, м	Высота расхаживания инструмента, м
Пески и суглинки	II	500—600	140	4,5—6	120—140	0,3—1,0	0,5—1,5
Глины	III—V	500—600	140	7—8	140—160	0,3—1,5	1,0—2,0
Бокситовые глины, рыхлые и глинистые бокситы	V	500—700	140	7—9	140—160	0,3—1,5	1,0—2,0
Каменистые бокситы, известняки	VII—VIII	500—700	225	9—12	160—250	1—2	0,5—1,0
Песчаники	IX—X	500—700	225	13—15	160—250	1—2	0,5—1,0

ге. Это приводило к уменьшению скорости бурения, а в некоторых случаях — к остановке работ. Заклинивание керна в коронке ликвидировалось путем повышения осевой нагрузки, а в колонне труб, сальнике и керноотводящем шланге — многократным изменением обратной промывки на прямую и продавливанием керна деревянной пробкой.

Бурение прекращали через каждые 1,5 м при проходке скважин по вмещающим породам и через 1 м — по продуктивной толще с целью повышения точности привязки керна к глубине его залегания. Керновый материал из песчаных отложений транспортировали на поверхность в виде пульпы и отбирали после отсадки с поддона керноприемника. КERN из супесчаных отложений имел вид отдельных кусочков объемом 3—5 см³, а при бурении в суглинках, глинах и глинистых бокситах — форму цилиндров длиной 30—50 см. В пластичных породах наблюдалось линейное растяжение керна, его длина в 1,5—2,5 раза превышала длину пройденного интервала, поэтому прекращение бурения через каждые 1—1,5 м было необходимо для повышения точности привязки. КERN каменистых бокситов и кристаллического фундамента выносился на поверхность в виде цилиндров высотой 20—30 мм.

После извлечения бурильной колонны на поверхность стенки скважин обрушивались. При бурении комплексом КГК-100 в процессе приемо-сдаточных испытаний для предотвращения обрушений ствола во время вынужденных перерывов в работе бурильную колонку не извлекали на поверхность.

Технологический процесс бурения комплексом КГК-100 сопровождается периодическим расхаживанием для проработки ствола. Частота и высота расхаживания зависят в основном от характера пород.

Бурение скважин двойными бурильными трубами с обратной продувкой воздухом

Опыт бурения геологоразведочных скважин с продувкой сжатым воздухом показал, что при наличии компрессоров производительностью 9—10 м³/мин при давлении 0,7—0,8 МПа можно бурить скважины глубиной до 250 м, а в отдельных случаях — до 340 м с хорошими технико-экономическими показателями.

Мощность двигателя для компрессора должна увеличиваться пропорционально квадрату диаметра скважины. Для эффективного использования подвижных компрессоров существующих марок производительностью до 10 м³/мин на кафедре техники разведки Ташкентского политехнического института была разработана технология бурения двойными концентрическими бурильными трубами с обратной продувкой воздухом.

Буровой снаряд состоит из двух концентрически расположенных колонн труб диаметром 108 и 50 мм. На конце наружной колонны находится твердосплавная коронка. Внутренняя колонна не участвует в разрушении породы и служит для транспортировки шлама на поверхность.

На рис. 18 приведена схема бурения скважин с обратной продувкой по буровому снаряду с двойными концентрическими трубами.

От компрессора сжатый воздух подается по нагнетательному шлангу 19 в воздухораспределитель 15 и в кольцевое пространство между внутренней 11 и наружной 10 колоннами труб. Дойдя до забоя, воздух поднимается по внутренней колонне 11 и увлекает за собой на поверхность разбуренную породу, которая через сальник-вертлюг 17 поступает по гибкому шлангу 16 в шламоуловитель.

Устье скважины герметизировано превентором (рис. 19).

Превентор устанавливают по направляющей трубе (кондукторе), затрубное пространство которой цементируют.

Описанный снаряд разработан для передвижных буровых установок роторного типа УРБ-ЗАМ, УРБ-2А и др.

Двойную колонну бурильных труб собирают из отдельных звеньев длиной 3 м. Внутренняя колонна состоит из гладкоствольных труб одинакового поперечного сечения по всей длине: на этих трубах нет резьбы. Каждая из труб заточена под углом 45° с одного конца, на другом конце сделана выточка. Уплотнение создается за счет конусности выступа и выточки. Наружные трубы соединены между собой на резьбе. На каждом конце трубы просверлено восемь отверстий для электрозаклепок.

Каждое звено трубы собирают в такой последовательности. На наружной поверхности внутренней трубы на расстоянии 12 см от каждого конца приварено по четыре сухарика. Трубу с этими сухариками вставляют в наружную трубу и в местах просверленных отверстий приваривают с помощью электрозаклепки. Полученную таким образом двойную концентрическую трубу устанавли-

вают в патрон труборезного станка, где с одной установки делают резьбу на наружной трубе и снимают конусы на внутренней трубе таким образом, чтобы при свинчивании отдельных звеньев между ними не было зазоров. На нижнее звено навертывают переходник с ребристой коронкой 1 СМ1 или СМ2 и обратный конус 2 для приема разбуренной породы во внутреннюю трубу (см. рис. 18).

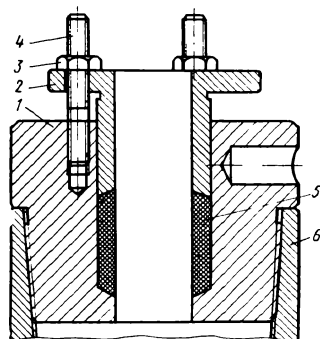
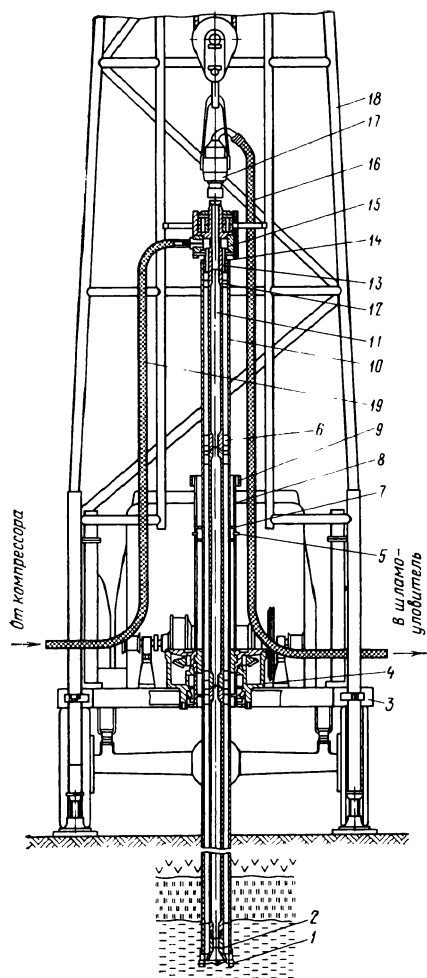


Рис. 19. Превентор конструкции Ташкентского политехнического института для герметизации устья скважины при бурении с обратной продувкой воздухом:

1 — заглушка; 2 — грандбукса; 3 — уплотняющая гайка; 4 — шпилька; 5 — сальниковая набивка; 6 — муфта для обсадных труб

Рис. 18. Схема бурения скважин с обратной продувкой по буровому снаряду с двойными концентрическими бурильными трубами:

1 — коронка; 2 — приемный конус; 3 — рама станка УРБ-3АМ; 4 — ротор станка; 5 — винт для крепления патрона; 6 — сухарь; 7 — патрон; 8 — стойка вращателя; 9 — хомут; 10 — бурильная колонна, $d = 108$ мм; 11 — бурильная колонна, $d = 50$ мм; 12 — планка; 13 — отверстие в шпинделе; 14 — шпиндель; 15 — воздухо-распределитель; 16 — выкидной шланг; 17 — вертлюг; 18 — буровая вышка; 19 — магнетальный шланг

Воздухораспределительная коробка 15 состоит из фигурного шпинделя 14, на который надевается чаша, закрываемая крышкой, удерживаемой болтами. Внутри чаши установлены шарикоподшипники. В нижнюю часть воздухо-распределительной коробки

ввинчен штуцер с нагнетательным шлангом 19 для подачи воздуха от компрессора.

Шпиндель 14 в нижней части имеет по окружности восемь отверстий. Воздух из воздушной коробки поступает через эти отверстия в кольцевое пространство. В процессе бурения корпус воздухораспределительной коробки (вместе со штуцером) неподвижен, а шпиндель вращается внутри чаши на шарикоподшипниках. Верхний конец шпинделя 14 соединяется с вертлюгом 17, а нижний наворачивается на наружную бурильную колонну 10.

Для вращения колонны бурильных труб диаметром 108 мм сконструирован специальный вращатель для буровой установки УРБ-ЗАМ. Вращатель состоит из стояка 8 длиной 1150 мм и патрона 7. Стояк нижним основанием приваривается к внутреннему разъемному вкладышу ротора и имеет четыре вертикальных паза, в которых свободно перемещается зажимной патрон. Патрон жестко крепится к наружной бурильной колонне четырьмя винтами. Вместе с патроном бурильная колонна может перемещаться вверх и вниз. Патрон крепится на новом месте через 1 м углубления забоя. Стояк вместе с вкладышем по мере надобности свободно вынимается из ротора.

Бурение с двойными концентрическими бурильными трубами производилось на экспериментальном полигоне Ташкентского политехнического института. При этом применялись установки УРБ-ЗАМ, компрессор ЗИФ-55 (4,5 м³/мин) и ребристые коронки для сплошного бурения диаметром 112 мм. Глубина скважины не превышала 30 м. Механическая скорость проходки на сухих песках составляла 15—20 м/ч, в плотных глинах 10—12 м/ч. Расход воздуха и давление на компрессоре при бурении в сухих и плотных глинах равнялись соответственно 2—2,5 м³/мин и 0,15—0,25 МПа.

Большая скорость восходящего потока воздуха обеспечивает быстрый подъем шлама на поверхность. Шлам при подъеме с забоя не соприкасается со стенкой скважины и не засоряется посторонней породой. Он служит представительным материалом для опробования рудного тела и продуктивных пластов. С помощью двойной колонны труб можно бурить в зонах тектонических нарушений в трещинах и кавернозных породах, где обычно происходит полная потеря воздуха.

Технико-экономические показатели

При бурении скважин глубиной до 100 м на полигоне СКБ Мингео СССР были достигнуты следующие технико-экономические показатели. Пробурено в естественных условиях 596 м. Механическая скорость бурения по четвертичным отложениям составила 46,7 м/ч; по породам среднего карбона — 8,9 м/ч. Проходка за рейс: минимальная 5,95 м, средняя 12,85 м, максимальная 25,4 м. Выход керна в четвертичных отложениях — 100 %, по породам среднего карбона — 94 %. В общем балансе рабочего

времени длительность отдельных операций составила (в %): чистое время бурения 42—64, спуско-подъемные операции 3,3—14; наращивание труб 18,3—38; укрепление шпинделя 2,6—10,1; проработка ствола скважины 0—6,9; ликвидация подклинивания керна 26,4.

При применении установки ВВС-20ДН производство вспомогательных операций занимает много времени. В частности, одно наращивание двойной или одинарной трубы продолжается в среднем 8 мин. Этим и объясняется большой процент затрат времени на наращивание труб. Проработка ствола обусловлена значительной трещиноватостью пород и завалами, возникающими в скважинах.

За период испытаний произошло 44 подклинивания керна, в том числе (в %): в изгибе шланга над промывочным сальником 75; в бурильной колонне 4,56; в прямой части сбросового шланга 4,56; в соединении шланга со штуцером 4,56.

Подклинивания керна в изгибе шланга над промывочным сальником обусловлены тем, что внутренний диаметр шланга был больше внутреннего диаметра бурильных труб, что вызывало резкое падение скорости потока. Этот недостаток устранен в ходе дальнейшего проектирования. С целью ликвидации подклинивания керна в бурильной колонне без извлечения ее на поверхность разработана и успешно опробована система обвязки устья скважины, позволяющая оперативно переключать направление потока промывочной жидкости из зазоров между трубами во внутренний канал колонны и обратно.

При применении установки с подвижным вращателем за счет сокращения времени наращивания двойных труб и внедрения других мероприятий можно достигнуть производительности бурения свыше 70 м за смену [11].

В Северо-Казахстанском ТГУ при проведении предварительных и приемочных испытаний комплекса КГК-100 [15] бурение производили по песчано-глинистым породам II—IV категорий мощностью от 15 до 100 м. Результаты бурения комплексом КГК-100 сравнивали с результатами бурения установкой колонкового бурения УКБ-500С.

При бурении установкой УКБ-500С устье скважины закрепляли кондуктором, а ствол — одной-двумя колоннами обсадных труб. Для промывки использовали глинистый раствор, причем при бурении трещиноватых каменных бокситов часто возникало полное поглощение промывочной жидкости. Выход керна составлял 75 %. Керновый материал был загрязнен глинистым раствором.

За период испытаний комплекса КГК-100 было пробурено с гидравлической транспортировкой керна 10 600 м. Средняя глубина бурения около 70 м, а максимальная 191 м. Бурили без крепления обсадными трубами с промывкой водой. Устойчивость стенок обеспечивалась за счет резкого сокращения числа спусков и подъемов инструмента и малых затрубных зазоров. Потери воды сократились примерно в 5 раз по сравнению с потерями глинистого раствора, применявшегося при обычном бурении (0,04 м³ воды

и 0,21 м³ глинистого раствора расходовалось на бурение 1 м скважины).

Общее количество промывочной жидкости на бурение скважины глубиной 75 м снизилось с 15 до 4 м³. Расходы на приготовление промывочной жидкости сократились с 11 до 3 руб. в смену.

Сравнительные результаты бурения с гидравлической транспортировкой керна и обычным колонковым способом приведены в табл. 7. Бурение осуществляли в породах со средней категорией IV.

Таблица 7

Средние показатели	Бурение		Сравнительные результаты, %
	с гидротранспортировкой керна	колонковое	
Глубина скважины, м	54,5	53,0	103
Углубление, м:			
за рейс	30,6	3,95	775
на коронку	67,8	17,5	387
Скорость бурения, м/ч:			
механическая	33,75	9,88	342
техническая	15,32	5,19	295
цикловая	9,4	3,94	239

При освоении комплекса КГК-100 была достигнута производительность 3850 м/ст.-мес. Время на спуско-подъемные операции сократилось в 2 раза. Уменьшилось время на крепление скважины трубами, сооружение и ликвидацию отстойников. Экономическая эффективность от внедрения одного комплекса — около 20 тыс. руб. в год. Выход керна составил 100 %.

Северо-Казахстанским ТГУ были проведены в одинаковых геологических условиях сравнительные испытания двух установок: УКБ-500С, оборудованной станком СБА-500, и КГК-100.

Таблица 8

Показатели	УКБ-500С	КГК-100	Сравнительные результаты, %
Производительность, м/ст.-мес.	1250	2520	201,6
Среднее углубление, м:			
за рейс	3,97	27,8	700,3
на коронку	17,5	86,5	494,2
Механическая скорость бурения, м/ч	3,88	11,4	293,8
Расход промывочной жидкости на 1 м бурения, м ³	0,20	0,1	50
Стоимость 1 м бурения, руб.	4,41	3,68	83,4

При бурении установкой КГК-100 план был выполнен на 170—190 %, а при бурении установкой УКБ-500 — на 150—155 %. Показатели бурения установками УКБ-500С и КГК-100 отражены в табл. 8.

Применение комплекса КГК-100 дало возможность отказаться от применения глинистого раствора. От его внедрения в 1977 г. было сэкономлено 22 305 руб.

Комплекс КГК-100 успешно использовали при геологическом картировании, геохимических исследованиях, разведке месторождений стройматериалов, бурых и каменных углей, бокситов и полиметаллов.

Средняя скорость бурения составила 3000 м/ст.-мес. Достигнута максимальная скорость бурения 8500 м/ст.-мес.

С расширением области применения комплекса КГК-100 и освоением технологии бурения показатели бурения улучшаются. Создан разборный буровой станок УПБ-100 с подвижным вращателем для бурения до глубины 100—150 м вертикальных и наклонных скважин, что дает возможность отказаться от тяжелого оборудования. Завершена разработка гидрофицированной установки УПБ-100ГТ на вездеходе ГТСМ. Благодаря наличию подвижного вращателя и увеличению хода подачи механизированы спуско-подъемные операции. Осуществляется вращение обсадных труб в процессе обсадки скважин. Установка обеспечивает значительное повышение скорости бурения (до 150 м/ст.-мес).

Подводя итоги применения нагнетательной обратной промывки с непрерывным подъемом керна по двойной колонне бурильных труб, необходимо отметить следующие достоинства этого способа бурения:

применение двойной колонны бурильных труб для создания нагнетательной обратной промывки снижает расход промывочной жидкости особенно при бурении в интервалах горных пород, способных к поглощениям, так как наружная колонна бурильных труб при бурении играет роль обсадных труб. Потери воды при этом способе бурения могут быть уменьшены в 5 раз и более;

циркулирующая в скважине легкая промывочная жидкость не контактирует со стенками скважины и не размывает их. Закачиваемый в затрубное пространство утяжеленный высококачественный глинистый раствор не циркулирует и создает на стенках скважины тонкую плотную глинистую корку, которая препятствует уходу промывочной жидкости в сильнопроницаемые пористые горные породы;

в скважине резко снижается пульсация давления, связанного со спуском и подъемом бурового инструмента, что нередко является причиной возникновения поглощений;

значительно снижается число спусков-подъемов бурового снаряда. Инструмент поднимают только при полном износе породоразрушающего наконечника. Уменьшается время на крепление скважин трубами;

при наращивании бурильной колонны буровой инструмент не поднимают над забоем, так как на забое отсутствует буровой шлам и нет опасения, что буровой снаряд будет прихвачен шламом;

уменьшается вибрация буровой колонны, а следовательно, уменьшаются число и сила ударов колонны о стенки скважины. Это дает возможность создавать высокие скорости вращения буровому снаряду, что особенно важно при алмазном бурении;

снижается тенденция скважин к искривлению благодаря постоянному диаметру наружной колонны, близкому к диаметру разбуриваемой скважины. По данным И. В. Кузьмина, при глубине скважин 750 м искривление не превышало $1,5^\circ$. Снижается возможность образования желобов;

снижение прихватов на забое способствует сокращению числа спуско-подъемов инструмента и увеличению времени чистого бурения за счет вспомогательных операций и простоев;

уменьшается число проводимых геофизических исследований в скважинах за счет получения высокого выхода керна и шлама по всем породам, пересекаемым скважинами. Испытания зарубежных установок показали, что получаемый при этом методе керн дает полную геологическую информацию о буримых породах, а выход керна даже при бурении слабых и легко разминающихся руками пород составляет 98—100 % [5].

Удается очень точно привязать образец к тому интервалу скважины, из которого он был взят;

достигается очень высокая скорость бурения, что объясняется хорошей очисткой забоя от шлама, непрерывным наблюдением за породами, регулированием факторов режима бурения (давлением и частотой вращения);

повышенная жесткость двойной колонны и небольшой кольцевой зазор между стенками скважины и колонной бурильных труб дают возможность бурить на оптимальных режимах;

сокращается аварийность бурового инструмента;

по данным зарубежной практики, стоимость бурения 1 м уменьшается до 10 % по сравнению с прямой промывкой. Применение отечественного комплекса КГК-100 дает большой экономический эффект. Резко уменьшается время на сооружение и ликвидацию отстойников. Керновый материал сохраняется чистым, снижается трудоемкость буровых работ, уменьшается расход средств на промывочную жидкость.

Этот способ промывки имеет следующие недостатки:

сложность оборудования устья скважины и системы обвязки насосов;

одновременное применение двух видов промывочной жидкости; сложность конструкции силового вертлюга;

сложность конструкции двойной колонны бурильных труб.

По этим причинам бурение скважин с выносом керна обратным потоком промывочной жидкости еще не нашло достаточно широкого распространения.

Для получения наименьших гидравлических сопротивлений при прокачивании промывочной жидкости между бурильными трубами и во внутренней колонне бурильных труб нужно стремиться достигнуть одинаковой скорости нисходящего и восходящего потоков. Это возможно при создании равных площадей гидравлических контуров. Для уменьшения потерь промывочной жидкости на забое необходимо применять коронки, обеспечивающие внутреннюю боковую промывку забоя. С целью уменьшения заклинивания керна при гидравлической транспортировке его с забоя на поверхность необходимо, чтобы диаметры внутренних каналов бурильных труб и сбрасывающего шланга были одинаковыми.

В настоящее время исследования и разработки различных модификаций комплекса технических средств для бурения с непрерывным выносом керна с использованием двойной колонны бурильных труб ведутся в ряде стран по разным направлениям.

Общим для всех систем является то, что керновый материал отбирается непрерывно в процессе бурения и выносится на поверхность по внутреннему каналу колонны обратным потоком промывочной жидкости. Бурильная колонна может быть двойной или тройной. В качестве промывочного агента используют жидкость, воздух, жидкость с воздухом. Одни системы позволяют отбирать керн и шлам, другие — только шлам. В некоторых системах предусмотрено применение в процессе бурения тяжелой буферной жидкости, закачиваемой в затрубное пространство; в других такая жидкость не используется.

Бурение скважин с выносом керна обратным потоком промывочной жидкости (воздуха) является весьма перспективным.

В СССР разрабатываются технические средства для бурения скважин с гидравлическим выносом керна на глубину до 500—700 м.

Глава II

БУРЕНИЕ СКВАЖИН С ВСАСЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКОЙ

§ 1. ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ

При бурении скважин большого диаметра от 0,5 до 4 м глубиной 100—500 м для водоснабжения и дренажа в зарубежной практике значительное распространение получила всасывающая обратная промывка, создаваемая центробежными насосами с подачей от 4000 до 9500 л/мин [5]. Этот способ бурения применяется в США, ФРГ, Великобритании и других странах [3]. За рубежом он получил наименование «реверсивное бурение».

Первые сведения о станках реверсивного бурения в отечественной технической литературе были опубликованы в 1959 г. и затем неоднократно появлялись в различных периодических изданиях.

В институте ВОДГЕО была усовершенствована буровая установка УРБ-3АМ с целью применения ее для бурения с всасывающей обратной промывкой.

В дальнейшем для бурения скважин большого диаметра с всасывающей обратной промывкой в СССР наметились два направления: 1) использование существующего бурового оборудования (УРБ-3АМ, 1БА-15В, УРБ-2А) путем модернизации и оснащения специальным инструментом; 2) внедрение специализированных установок зарубежных производств (K2/S-100 и FA-12).

Принципиальная схема всасывающей обратной промывки представлена на рис. 20.

Промывочная жидкость из специального резервуара самотеком поступает в кольцевое пространство между стенками скважины и колонной бурильных труб 2. Из скважины шламовая пульпа отсасывается мощным центробежным насосом 3 через долото 1 и колонну бурильных труб 2. Из центробежного насоса она сбрасывается после очистки в специальный резервуар (отстойник), а из него снова самотеком поступает в скважину. Объем резервуаров должен быть в 3 раза больше объема скважины, а сами резервуары должны располагаться выше устья скважины.

Данный способ отсоса обеспечивает высоту подъема промывочной жидкости в пределах 4,5, реже 7—8 м вод. ст. [18]. Поэтому он может быть использован только при бурении скважин, в которых не наблюдается поглощений промывочной жидкости. Разница уровней жидкости в резервуаре и устье скважины не должна превышать 5—7 м.

Для запуска в работу центробежного насоса 3 создается предварительное разрежение на участке всасывающей магистрали от уровня жидкости до задвижки. Для этого используют вакуумные насосы 4, отсасывающую магистраль которых соединяют с сальником-вертлюгом и рабочей полостью центробежного насоса.

Для предупреждения от загрязнения вакуумного насоса шламом между ним и центробежным насосом обычно устанавливают емкость с поплавковым клапаном. При включении в работу вакуумного насоса 4 создается предварительное разрежение, равное 450—500 мм вод. ст. С включением центробежного насоса 3 разрежение увеличивается до 600—650 мм вод. ст.

Наиболее благоприятные условия для работы центробежного насоса создаются в том случае, когда площадь сечения проходного

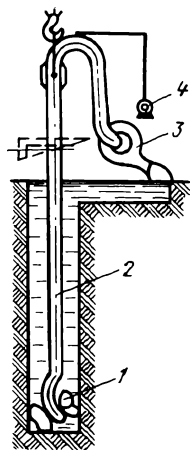


Рис. 20. Схема всасывающей обратной промывки, создаваемой отсосом жидкости центробежным насосом [5]

канала колонны бурильных труб равняется гидравлическому сечению всасывающей линии насоса, т. е. когда внутренний диаметр бурильных труб равен внутреннему диаметру всасывающего шланга, соединяющего бурильные трубы 2 с центробежным насосом 3.

Для создания вакуума и удовлетворительной работы насоса необходимо, чтобы колонна бурильных труб на линии отсоса была герметичной.

Бурение с обратной промывкой возможно и с использованием только одного центробежного насоса. В этом случае необходимо предусмотреть возможность в обвязке насоса переключений всасывающей и нагнетательной линий с предварительным заполнением водой ведущей штанги и всей отсасывающей линии. Это можно сделать путем оснащения низа ведущей штанги обратным клапаном или перенесением сальника, через который происходит отсос пульпы, в крайнее положение на ведущей штанге.

Буровое оборудование и инструмент

Для бурения скважин большого диаметра с обратной промывкой с применением поверхностных центробежных насосов за рубежом выпускается много установок различными фирмами ГДР, США, ФРГ [5]. В подавляющем большинстве эти установки самоходные и имеют роторные вращатели со свободной подачей инструмента с лебедки. В последнее время появляются установки с подвижным вращателем и гидравлическим механизмом подачи. Подвижный вращатель представляет собой одно- или двухступенчатый редуктор с приводом от одного или двух гидродвигателей. Роторы многих установок тоже приводятся во вращение через двухступенчатый редуктор от гидродвигателей. Гидродвигатели приводятся в действие маслонасосами с регулируемой подачей. Это дает возможность бесступенчато регулировать частоту вращения ротора в двух диапазонах.

Установки оснащены двух- или трехбарабанными лебедками с индивидуальным включением в работу. Монтируются они на одно- или двухосном прицепе. Некоторые выпускаются в двух модификациях — на прицепе и на автомашине, двигатель которой используется для привода вращателя, лебедки и насоса.

Чтобы сделать установки более универсальными и расширить их технические данные, в них закладывается возможность бурения скважин несколькими способами: вращательным с прямой и обратной промывками и ударно-канатным.

В табл. 9 дана характеристика зарубежных буровых установок для бурения скважин глубиной от 100 до 200 м и более.

В установке K2/S-100 кроме центробежного имеется вакуумный насос типа L60/2J с подачей 40 м³/мин, с вместимостью вакуумной камеры 0,25 м³. Для ударно-канатного бурения установка оснащена вторым барабаном, имеющим пять ступеней включения.

При вращательном бурении скважин большого диаметра с всасывающей обратной промывкой применяют или шарошечные, или

Таблица 9

Показатели	Тип установки						
	K2/S-100 (ГДР)	«Стардрилл Франкс» (США) — RC-100	«Спид-Стар-Кейстон» (США) — RC-102	«Фейлинг» (США) — RD-600	«Зальцгиттер» (ФРГ)		
					S-300	PS-150	SW-200
Глубина бурения, м	100	180	180	180	300	180	200
Диаметр скважины, мм	650; 480; 350; 260	1520—460	1520—460	1600—470	600; 750; 1000—1200; 1500	1200	4100
Диаметр бурильных труб, мм	—	152	152	—	—	152	—
Диаметр проходного отверстия ротора, мм	680	787	787	800	800	300	—
Частота вращения снаряда, об/мин	8,5; 16; 28; 46; 73 и 11,5 левого и правого вращения	5 частот	5, 11, 20, 33	—	6—60	0—120	0—42
Тип подъемника	Лебедка с гидроприводом	Двухбарабанная лебедка		Трехбарабанная лебедка			
Натяжение каната, кН	6,0; 3,75 2,35	70	12; 54	67	35	53; 10	50
Скорость навивки каната, м/с	0,67; 1,25; 2,5; 3,6; 5,7	—	1,08; 0,55; 0,32; 0,11	—	0,25; 2,4; 1,6	—	—
Высота мачты, м	10,5	12	12	—	11,9	11,9	11,9
Нагрузка на кронблок, кН	126	270	270	180	—	220	240
Подача центробежного насоса, л/мин	1600	4000	4000	4100	8000	—	4000
Масса установки, т	11	15	12	—	14,2	13,5	13,5
Мощность привода, кВт	30	58,8	58,8	—	47,8	48,5—61,7	41,1
Тип транспорта	Трейлер	Полуприцеп					

Продолжение табл. 9

Показатели	Тип установки						
	«Ганиель Луер» (ФРГ)		«Калверд- дрилл Со» (США) — 150А, 200А	«Портадрилл» (США) — RV6	«Хидро-Риг» «Стардрилл Кейсто- франко» (США)—30-50	K5/S-150 (ГДР)	K6/S-250 (ГДР)
	«Деплекс» 1	«Мультифор» — M1, M1/M3					
Глубина бурения, м	200	200	180	225	180	150	250
Диаметр скважины, мм	1448—457	1448—457	4800—300	1524	2000—460	900—489	1500—750
Диаметр бурильных труб, мм	152	152	142—208	152—203	152	—	—
Диаметр проходного отверстия ротора, мм	Подвижный вращатель с гидроприводом		1200	762	762	680	680
Частота вращения снаряда, об/мин	0—166	0—166	—	8—55	8,16 24,5; 39 и 6	48; 8,5; 15; левого и правого вращения	
Тип подъемника	—	Трехбарабан- ная лебедка	Двухбарабанная лебедка		Двухбарабанная лебедка с гидроприводом		
Натяжение каната, кН	47; 13	47; 33; 13	70; 45	—	38	20; 11; 6,3; 3,75; 2,35	
Скорость навивки каната, м/с	—	—	—	—	—	0,67; 1,25; 2,15; 3,6; 5,7	
Высота мачты, м	13	13	—	8,2	9	10,5	10,5
Нагрузка на кронблок, кН	200—250	200—250	—	150	120	200	200
Подача центробежного насоса, л/мин	—	—	—	3800	2400	4100	8000
Масса установки, т	12	13	—	—	7	13,5	15
Мощность привода, кВт	45,5	60,2	88,2	29,4	29,4	40	36,7
Тип транспорта	Прицеп	Трейлер	Автомашина		Трейлер		Автомашина или прицеп

лопастные долота режущего типа, трех- и четырехперые. Некоторые долота выполняют со сменными лопастями. Такие долота имеют фланцевое соединение с колонной бурильных труб.

При бурении скважин диаметром более 0,5 м по перемежающимся породам наибольшее распространение получили эксцентричные одношарошечные долота, которые позволяют создавать повышенное удельное давление на забой. Кроме того, они дают возможность бурить скважины с одновременной обсадкой.

Засасывающие окна в большинстве долот расположены в их торце, но встречаются конструкции и с боковыми окнами. Наиболее часто засасывающие окна располагают на расстоянии 30—40 мм от передней кромки долота. Лопаста долот оснащены режущими элементами таким образом, чтобы вся плоскость забоя разрушалась равномерно. Во всех применяемых долотах режущие кромки армируются пластинками твердого сплава.

Из всех зарубежных буровых установок наиболее совершенной является S-300, выпускаемая фирмой «Зальцгиттер» (ФРГ). Принципиальная схема работы этой установки представлена на рис. 20.

Установка смонтирована на специальном двухосном прицепе шириной 2,5 м, расстояние между осями 5,8 м. Вращение от дизеля передается приводному валу через фрикционную муфту и клиноременную передачу. Тормозные устройства пневматические. Коробка скоростей имеет шесть скоростей прямых и одну обратную, которые передаются трем лебедкам и ротору. Лебедки с канатоемкостью 150 м и грузоподъемностью по 3,5 кН предназначены: инструментальная — для регулировки подачи всасывающей трубы по мере углубления забоя; талевая — для наращивания колонны всасывающих труб; грейферная — для спуска и подъема бурового наконечника грейферного типа. Кроме промывочного насоса, установка оборудована специальным вакуумным насосом.

Ведущая штанга соединяется фланцем с всасывающей буровой колонной и передает ей вращательное и возвратно-поступательное движение.

В качестве бурового инструмента применяют зубчатые и крыльчатые долота или долота с одной большой шарошкой, установленной на шарикоподшипниковой опоре на криволинейной трубе с отверстием большого сечения для прохода засасываемых кусков породы.

В Великобритании вращательные станки для всасывающего способа бурения выпускаются фирмой «Аргелайн». Эти станки имеют гидрофицированное управление. На основных узлах станка (мачте, вращателе, лебедках) установлены гидравлические двигатели, приводимые в движение от маслососа через гибкие шланги. Для привода маслососа служит трактор с двигателем мощностью 29,4 кВт. Этот трактор перемещает станок.

Буровая установка «Гидро-Пиг» фирмы «Аргелайн» предназначена для бурения скважин диаметром до 2 м на глубину до 150 м в мягких и рыхлых породах. Бурение производится вращательным способом с применением обратной промывки. Буровой шлам отса-

сывается из забоя через бурильные трубы с помощью специального вакуумного насоса, установленного на поверхности.

Буровой инструмент подают на забой двумя гидродомкратами или при помощи лебедки. Установка смонтирована на тракторе типа «Фордзон», двигатель которого имеет мощность 29,4 кВт и служит приводом для вращателя и насоса. Установка имеет мачту высотой 9,15 м, грузоподъемностью 90 кН. Все управление станком и мачтой гидравлическое.

В транспортном положении основные размеры установки: высота 3,05 м, ширина 2,3 м, длина 8,4 м, масса 4950 кг.

Бурильные трубы при бурении скважин с всасывающей обратной промывкой в большинстве случаев имеют внутренний диаметр от 152 до 210 мм. Увеличение их диаметра приводит к снижению гидравлических сопротивлений в колонне, а следовательно, к увеличению возможной глубины и диаметра бурения, а также производительности бурения.

Наиболее выгодно бурить трубами диаметром 162,4—304,8 мм. Трубами диаметром 100 мм можно бурить скважины диаметром 200—800 мм на глубину до 150 м, а с применением труб диаметром 300 мм можно бурить скважины глубиной до 500 м диаметром 900—4000 мм.

Так как при всасывающей промывке с использованием центробежного насоса вся приводная мощность расходуется непосредственно на подъем промывочной жидкости, общий к. п. д. способа обратной циркуляции сравнительно велик и составляет около 60 % [5].

В СССР для бурения с всасывающей обратной промывкой наиболее распространена установка УРБ-ЗАМ.

Для достижения требуемой по технологии бурения частоты вращения инструмента применяют левое вращение ротора от 40 до 50 об/мин. Используют бурильные трубы фланцевого соединения диаметром 100 мм с толщиной стенки 6—9 мм и лопастные долота для левого вращения ступенчатой конструкции, изготовленной из листовой стали, причем лопасти армированы твердым сплавом. В качестве рабочей штанги применяют трубу квадратного сечения 100×100 мм.

Верхняя часть рабочей штанги соединена с сальником-вертлюгом, конструкция которого обеспечивает удаление разбуренной породы из забоя при работе центробежного насоса под вакуумом.

Центробежный и вакуумный насосы, привод, вакуумный и водяной баки, обвязки и пусковая аппаратура располагаются на двухосном прицепе (насосном блоке).

Вертлюг снабжен боковыми салазками, благодаря которым он может перемещаться вверх и вниз по мачте станка. В нем есть отверстия, из которых одно ($d=100$ мм) соединено гибким армированным шлангом с центробежным грязевым насосом 4НФ, а другое ($d=25$ мм) таким же шлангом соединено с вакуумным котлом вместимостью 0,2 м³. Вакуумный котел связан с вакуумным насосом (КВН-4, КВН-8 или РМК-2) и центробежным насосом 4НФ.

Подача насоса 4НФ — 180 м³/ч; он приводится в действие двигателем мощностью 20 кВт.

Перед началом работ на участке бурения роют котлован вместимостью 20—30 м³, а на устье скважины — шурф глубиной 1 м и сечением 1×1 м, соединяемый с котлованом канавой. Котлован заливают водой.

При использовании бурильных труб с резьбовыми соединениями, левое вращение которых недопустимо, в кинематическую цепь, непосредственно за муфтой сцепления двигателя Д-54, включают понижающий редуктор.

К достоинствам установки относятся: высокая транспортабельность, сравнительно небольшая масса, значительная высота мачты и большая ее грузоподъемность; к недостаткам — отсутствие второй лебедки, единственная пригодная для бурения с всасывающей промывкой частота вращения ротора, недостаточная величина расстояния между направляющими вертлюга и проходного отверстия рамы под ротором. Последнее отрицательно сказывается на необходимости установки кондуктора. Для этого требуется отодвигать станок, а затем вновь его устанавливать. При наличии одной лебедки замедляется процесс наращивания инструмента.

Технология бурения

Глубина забуривания ствола с всасывающей обратной промывкой зависит от устойчивости пород верхней части разреза и от уровня воды в скважине. Применение всасывающей обратной циркуляции может быть начато уже при заглублении забоя ниже уровня воды в скважине на 0,5 м. В случае встречи неустойчивых пород в верхнем участке скважины необходимо перекрыть их обсадными трубами, а затрубное пространство тампонировать глиной. Забуривание верхней части ствола может быть осуществлено медленновращательным способом всухую и вращательным способом с прямой промывкой.

При бурении с прямой промывкой применяют тот же инструмент, что и при бурении с обратной промывкой.

Перед забуриванием скважины включают вакуумный насос, который служит для заполнения водой бурильных труб, шлангов и центробежного грязевого насоса. После включения грязевого насоса отключают вакуумный насос и включают ротор станка.

Технология бурения скважин с всасывающей обратной промывкой складывается из двух операций — забуривания скважины и бурения ствола до проектной глубины.

Забуривание можно производить долотом как с прямой, так и с обратной промывкой. Прямую промывку при забуривании применяют по глинистым, а обратную — по рыхлым песчаным породам. Скважины забуривают при минимальных частотах вращения ротора (10—15 об/мин).

Встречающиеся при бурении скважин валуны или галечные отложения извлекают желонками грейферного типа, которые спуска-

ют на забой на тресе. Бурение осуществляют при низкой частоте вращения (6—60 об/мин) сплошным или кольцевым забоем. Эффективность бурения этим способом во многом зависит от обеспечения водой, которая необходима для непрерывного заполнения ствола скважины.

В процессе бурения оптимальные скорости движения восходящего потока промывочной жидкости в трубах, при которых достигается наиболее эффективный вынос разбуренной породы, составляют 1,5—3 м/с.

Осевая нагрузка на забой должна быть достаточной для эффективного разрушения породы. При бурении по мягким породам долотами диаметром 1200 мм нагрузка на забой не превышает 90 кН, что составляет примерно 800 Н на 1 см диаметра долота.

Из-за отсутствия принудительной подачи инструмента на отечественных буровых установках увеличивается время на забуривание скважин.

При бурении скважин в пористых породах могут возникнуть поглощения. Как правило, потери промывочной жидкости не превышают 200 л/мин. При больших поглощениях производится тампонаж скважин глиной или цементом.

Процесс бурения скважин складывается из следующих операций: установки долота, соединения бурильной и ведущей труб с долотом, создания циркуляции промывочной жидкости, углубления скважины на длину бурильной трубы, наращивания инструмента. Последние три операции чередуются вплоть до достижения проектной глубины или до износа долота. Затем поднимают инструмент и отсоединяют долото. Установка и отсоединение долота — трудоемкие и продолжительные операции, если ротор не откидывается или долото не проходит через отверстие ротора.

При бурении требуется точно регулировать скорость подачи инструмента, что при подаче с барабана лебедки тормозом осуществить практически невозможно. Поэтому нередко случаи срыва циркуляции из-за излишне большого внедрения лезвий долота в породу и закупорки всасывающего отверстия. Для освобождения отверстия от пробки расхаживают инструмент, после чего необходим повторный запуск центробежного насоса.

На стадии внедрения всасывающей обратной промывки в СССР не производилось отработки оптимальных режимов бурения [18]. Бурение осуществлялось при одной и той же частоте вращения ротора в совершенно различных геологических условиях. То же следует сказать и об осевой нагрузке, которая регулировалась в соответствии с интенсивностью выноса пульпы.

При постоянной подаче центробежного насоса увеличение частоты вращения или осевой нагрузки приводило к тому, что образующийся шлам не успевал полностью удаляться, накапливался на забое и происходили закупорка всасывающего отверстия в долоте и срыв циркуляции.

Применение оптимальных режимов бурения возможно лишь при условии устойчивости циркуляции промывочной жидкости на

забое, обеспечивающей полную очистку забоя от выбуренной породы.

Затраты времени на бурение интервала, равного длине бурильной трубы, одинаковы, а иногда и значительно меньше затрат на наращивание бурильных труб. Наращивание занимает 20—40 мин в зависимости от типа соединения бурильных труб и применяемой буровой установки. Наличие двух лебедок позволяет несколько сократить затраты времени на эту операцию.

Технико-экономические показатели

Первая эксплуатационная скважина, пробуренная станком УРБ-ЗАМ с всасывающей обратной промывкой, была закончена и оборудована фильтром на Каховском водохранилище. В течение месяца этим станком было пробурено шесть скважин: четыре диаметром 600 мм и две — 1000 мм. Глубина скважин около 30 м. В последующем были пробурены еще две скважины диаметром 1000 мм.

Бурение этих скважин до проектных отметок производили без установки кондуктора. Забуривали с прямой промывкой, а после перебуривания лёссовидных суглинков мощностью до 5 м переходили на всасывающую обратную промывку с помощью центробежного насоса 4НФ, причем всасывающая система при пуске заряжалась вакуумным насосом КВН-3.

В процессе бурения подача центробежного насоса, откачивающего пульпу, составляла 10—15 л/с. Скорость движения промывочной жидкости с разбуренной породой в бурильных трубах 1,2—2,0 м/с. Скорость бурения изменялась в зависимости от плотности проходимых пород от 3—4 до 9—10 м/ч. Концентрация породы в откачиваемой пульпе 2—8 %.

На бурение одной скважины глубиной до 30 м и оборудование ее гравийным фильтром затрачивалось около 2 сут (считая ночной перерыв в работах).

Насос 4НФ недостаточно приспособлен для откачки пульпы, так как у него часто выходит из строя сальниковое уплотнение, поэтому его следует заменить на землесосный насос 5ГРУ-8 подачей 100—250 м³/с при напоре 30—24 м, мощность электродвигателя 25 кВт.

Буровые установки с всасывающей обратной промывкой дают высокую производительность. Например, одним станком за 4 мес. было пробурено 30 скважин глубиной 75 м каждая, диаметром 0,7 м; скважина глубиной 45 м, диаметром 5 м была пробурена за 5,5 ч.

Механическая скорость при вращательном бурении без промывки составляет 1,2—2,5 м/ч, а с обратной промывкой — 7—12 м/ч.

Внедрение этого способа бурения дает большой экономический эффект. Для организаций, внедряющих этот способ взамен вращательного бурения с прямой промывкой глинистым раствором, экономический эффект складывается за счет снижения затрат вре-

мени на разглинизацию и освоение скважины, экономии на материале (дорогостоящей и дефицитной бентонитовой глины), сокращения числа пробуренных скважин для водоснабжения и водопонижения (за счет повышения их дебита). Для организации, применяющих описанный способ взамен ударно-канатного бурения, повышение экономического эффекта стало возможным за счет резкого повышения коммерческих скоростей бурения и снижения затрат на материалы (обсадные трубы).

Таблица 10

Показатели	Стоимость 1 м бурения, руб.—коп.	
	ударно-канатным способом	вращательным способом с всасывающей промывкой
Зарплата	5—50	1—70
Электроэнергия	0—24	0—30
Амортизация	0—56	0—56
Содержание и ремонт оборудования	0—56	0—28
Удельные капитальные затраты	7—14	4—42
Материалы	43—80	9—94
Итого	57—80	17—00

В табл. 10 сопоставлены стоимости проходки 1 м скважин, пробуренных в породах III и IV категорий (пески, глины, мел, мергель, песчаник) ударно-канатным способом и модернизированной установкой УРБ-ЗАМ с применением всасывающей обратной промывки на Украине [18].

При испытании установок БА-1 с применением всасывающей обратной промывки получены лучшие технико-экономические показатели по сравнению с показателями при ударно-канатном бурении (табл. 11).

Таблица 11

Показатели	БА-1 (вращательное бурение с всасывающей обратной промывкой)	УКС-30М (ударно-канатное)
Средняя глубина скважины, м	62,30	60,90
Техническая скорость бурения, м/ст.-смену	16,50	—
Коммерческая скорость бурения, м/ст.-смену	3,46	1,22
Производительность труда рабочего, м/чел.-смену	0,865	0,406
Стоимость 1 м бурения, руб.	60,50	84,10

Анализ баланса рабочего времени на сооружение скважин показывает, что одним из резервов повышения производительности

является сокращение затрат времени на наращивание инструмента, на монтаж буровых установок, спуск обсадных труб и фильтров, организационные простои. Это подтверждает целесообразность создания и применения специализированных установок.

Исследования, проведенные в Туркмении по бурению скважин с всасывающей обратной промывкой с применением центробежных насосов, показали, что скорости бурения скважин диаметром 500 мм для вертикального дренажа в 10—15 раз выше, чем при ударно-канатном бурении [13].

Всасывающая обратная промывка обладает следующими достоинствами:

- позволяет получать высокий выход керна в легко размывающихся и разрушающихся породах;

- дает возможность бурить скважины большого диаметра (до 1500 мм и более) с достаточно хорошей очисткой их забоев как при бескерновом, так и при колонковом бурении;

- позволяет проходить скважины одним диаметром, что упрощает их конструкцию и технологию буровых работ;

- не загрязняет шламом разбурываемых пород водоносные горизонты, что позволяет увеличить их дебит;

- позволяет достигать высоких (до 100 м в смену) скоростей бурения и значительных проходок на долото;

- дает возможность снижать до минимума время спуско-подъемных операций, что способствует сохранению устойчивости скважин во время бурения;

- позволяет применять техническую воду вместо глинистого раствора;

- резко снижает расход обсадных труб, так как при этом способе промывки нет надобности в креплении ими скважин;

- не требует применения герметизации устья скважины.

К недостаткам этого способа относятся:

- сложность бурения в условиях безводных разрезов, связанных с полным поглощением промывочной жидкости, а также при проходке неустойчивых пород, залегающих на небольшой глубине, где не удастся создать необходимое противодавление на стенки скважины из-за небольшой высоты столба промывочной жидкости;

- нельзя применять этот способ при бурении скважин с полным поглощением промывочной жидкости особенно тогда, когда уровень промывочной жидкости в затрубном пространстве опускается ниже 5 м;

- малейшая неплотность соединений отдельных конструктивных элементов отсасывающей линии может нарушить работу вакуумной системы.

Центробежные насосы, применяемые для создания всасывающей обратной промывки, имеют следующие недостатки:

- применимы только лишь для откачки чистой воды (количество механических примесей в воде не должно превышать 0,01 % по весу);

- имеют низкий напор;

их можно применять только для вертикальных прямолинейных скважин.

Хотя отсос жидкости центробежным насосом экономичнее, чем эрлифтом, но из-за отсутствия надежных в работе грунтовых центробежных насосов и износостойких шлангов он не нашел в нашей стране достаточно широкого применения.

§ 2. БЕЗНАСОСНОЕ БУРЕНИЕ

Всасывающая обратная промывка может создаваться механическим расхаживанием бурового снаряда с помощью лебедки бурового станка или гидравлическим способом. Этот вид промывки относят к призабойной внутренней промывке [5].

Обратная промывка происходит за счет движения промывочной жидкости по замкнутой системе в зоне бурового снаряда без выхода её на поверхность. Безнасосное бурение применяется обычно с целью повышения выхода керна при проходке легко размывающихся пород IV—VI категорий по буримости, а также в интервалах, где наблюдается полное поглощение промывочной жидкости, и в безводных районах по трещиноватым разрушенным породам VI—VIII категорий.

Безнасосное бурение имеет сходство с работой своеобразного поршневого насоса, который всасывает промывочную жидкость в колонковую трубу и нагнетает ее в штанги. Роль неподвижного поршня здесь играет керн, относительно которого движется колонковая труба — подвижный цилиндр. Штоком насоса служит колонна бурильных труб. Промывочная жидкость всасывается при движении всего бурового снаряда вверх, нагнетается (выталкивается) в штанги — при быстрым опускании бурового снаряда вниз.

Углубление скважин при безнасосном бурении производится колонковым снарядом с клапаном (рис. 21, а) без подачи в скважину промывочной жидкости с помощью насоса. Однако безнасосное бурение можно применять при условии, если в скважине имеется столб жидкости. Если в скважине отсутствуют грунтовые воды, то в нее периодически заливают воду или глинистый раствор с поверхности.

Схема промывки скважины при безнасосном бурении показана на рис. 21, а, б.

В процессе бурения скважины производятся вращение бурового снаряда и периодическое его расхаживание, т. е. подъем над забоем и сбрасывание его на забой. Такой способ бурения можно отнести к ударно-вращательному способу.

При подъеме бурового снаряда над забоем скважины клапан 5 опускается вниз и перекрывает отверстие ниппеля 4. При этом ниже клапана внутри колонковой трубы 2 возникает разреженное пространство, которое заполняется промывочной жидкостью, поступающей с забоя вместе с буровым шламом (происходит всасывание). При опускании бурового снаряда на забой клапан 5 под давлением жидкости снизу поднимается вверх до ограничительного

штифта 8, а промывочная жидкость, поступающая с забоя, частично изливается через канал 7 в затрубное пространство и частично перемещается по бурильным трубам 9 (происходит нагнетание). При повторном поднятии снаряда вверх жидкость из бурильных труб 9 изливается в скважину через канал 7. Таким образом, в процессе бурения и периодического распахивания бурового снаряда возникает пульсирующая обратная промывка в призабойной зоне, что обеспечивает вынос шлама с забоя в шламоулавливающую трубу.

По устройству и наличию шламовых труб снаряды для безнасосного бурения подразделяются на три основные группы: без шламовых труб, с открытой шламовой трубой, с закрытой шламовой трубой. Шламовая труба должна обеспечивать улавливание всего шлама, образующегося за один-два рейса бурения. Обычно открытые шламовые трубы имеют длину 1,8—2,5 м, а закрытые — 2—3 м.

Для бурения твердых пород применяют стандартные коронки с нормальным выходом резцов за наружную и внутреннюю поверхности корпуса. Для мягких и вспучивающихся пород целесообразно применять ребристые коронки типа СМ-1, СМ-2.

При рассматриваемом способе бурения применяются следующие режимы: осевая нагрузка на забой для коронок диаметром 93—132 мм от 1,5 до 4 кН, частота распахивания бурового снаряда от 10 до 50 ходов в минуту, высота подъема снаряда над забоем от 50 до 150 мм, окружная скорость коронок 0,6—0,8 м/с.

При бурении трещиноватых и мягких пород, залегающих на небольшой глубине (до 250 м), безнасосный способ дает хороший выход керна — от 74 до 97 %.

В Донбассе в Никитовской геологоразведочной партии безнасос-

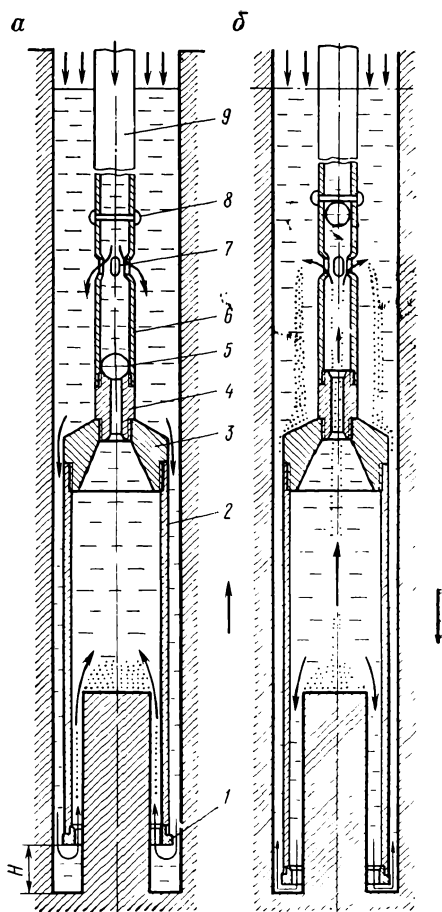


Рис. 21. Схема промывки скважин при безнасосном бурении при подъеме (а) и опускании (б) бурового снаряда [5]:

1 — буровая коронка; 2 — колонковая труба; 3 — переходник; 4 — ниппель; 5 — шаровой клапан; 6 — шламопроводящая труба; 7 — отверстие; 8 — штифт; 9 — бурильные трубы

ное бурение применялось на глубинах от 300 до 400 м. Из 28 скважин, пробуренных с безнасосной промывкой, выход керна составил 79 %.

Несмотря на сравнительно высокий выход керна, получаемый при безнасосном бурении, этот способ в настоящее время не нашел широкого применения. Это объясняется тем, что он имеет существенные недостатки, из которых главными являются: повышенный износ бурового инструмента и бурового станка, низкая производительность и повышенная аварийность. Указанные недостатки свидетельствуют о том, что безнасосный способ бурения малоперспективен для бурения скважин и может применяться вынужденно с целью получения лучшего выхода керна.

§ 3. ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА, СОЗДАВАЕМАЯ ВИНТОВЫМИ ПОГРУЖНЫМИ НАСОСАМИ С ВРАЩЕНИЕМ БУРИЛЬНЫМИ ТРУБАМИ

Обратная промывка может быть создана винтовым погружным насосом с приводом от вращения колонны бурильных труб.

Для создания всасывающей обратной призабойной промывки СКБ ВПО «Союзгеотехника» разработало схему винтового насоса, встроенного в буровой снаряд (рис. 22) [5].

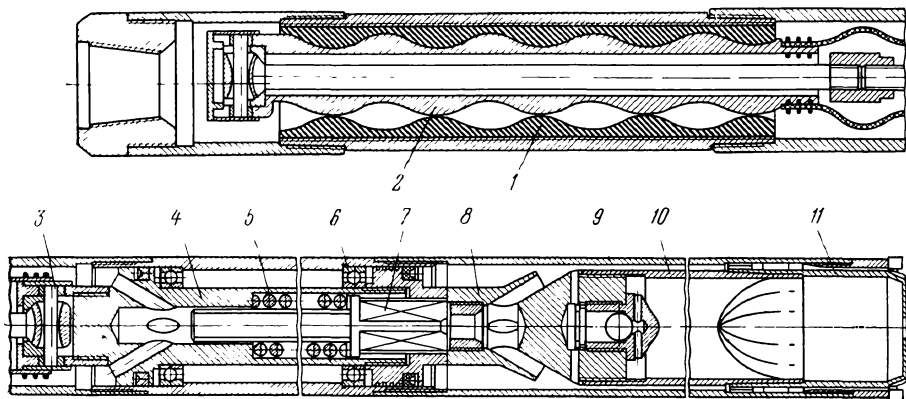


Рис. 22. Схема винтового погружного насоса с вращением обоймы и неподвижным винтом [5]

Конструктивная схема этого насоса предусматривает вращение обоймы и неподвижность винта. При вращении колонны бурильных труб вращается обойма 1 совместно с наружной колонковой трубой 9, а винт 2 тормозится за счет внедрения штампа 11 керноприемной трубы 10 в забой. В процессе вращения обоймы между винтовыми поверхностями обоймы и винта образуются полости, в которые засасывается с забоя жидкость и перемещается внутрь колонны бурильных труб. Вращение обоймы относительно винта, а не наоборот, как это бывает у винтовых насосов, предусмотрено

с целью уменьшения утечек в насосе. За счет этого обеспечивается возможность получения большей подачи насоса.

От штампа 11 и керноприемной трубы 10 тормозной момент передается винту 2 через переходник 8 со встроенным шариковым клапаном. Шток 7 квадратного сечения, жестко соединенный с переходником 8, входит в цилиндр 4. Под действием пружины 5 он имеет возможность осевого перемещения. Этим достигается автоматическое регулирование величины опережения (выхода) штампа относительно наружной колонковой трубы в зависимости от твердости буримых пород. Цилиндр 4, размещенный внутри наружной колонковой трубы 9 на подшипниках 6, жестко связан с опорой 3 вала винта насоса.

Работоспособность этого снаряда проверяли в специальной скважине на малой частоте вращения (72—450 об/мин). Экспериментальные исследования показали, что подача насоса при низкой частоте вращения почти пропорциональна изменению числа оборотов винта. Насос лучше работает на более вязкой жидкости (глинистом растворе). При 180—450 об/мин подача и давление насоса не зависят от вида прокачиваемой жидкости. Количество жидкости, прокачиваемой насосом, обратно пропорционально давлению в линии нагнетания.

Снаряд имеет диаметр 108 мм. При изготовлении его использовались винтовая пара и карданный вал насоса ВН18-3М.

При экспериментальном бурении этим снарядом было установлено, что при вращении бурильной колонны с частотой 153 об/мин подача насоса составляла около 12 л/мин. Этого оказалось недостаточно для нормального бурения.

С целью увеличения подачи насоса А. А. Волокитенков, В. И. Максимов, М. М. Розина и В. М. Швецов [5] разработали конструкцию одинарного колонкового снаряда со встроенным винтовым насосом для бурения скважин по твердым породам (рис. 23).

В этом снаряде вращение винта 14 насоса осуществляется от колонны бурильных труб, а торможение корпуса обоймы 13 насоса — с помощью специального устройства, распираемого о стенки скважины.

Снаряд работает по следующему принципу. После установки снаряда на забой бурильная труба 28, имеющая на конце квадратное сечение, смещается вниз и сжимает пружины 18, 24. В этот момент тормозные колодки 23 и 26 своими поперечными насечками прижимаются к стенкам скважины и через переходник 21 и трубу 12 удерживают от вращения обойму насоса 13.

Винт 14 насоса вращается вместе с колонной бурильных труб. Вращение винту передается через квадрат бурильной трубы 28 и эластичную муфту 16. Промывочная жидкость засасывается из затрубного пространства через окно В и отверстия А, трубу 5 и центральный канал переходника 3, нагнетается внутрь колонковой трубы и дальше на забой. Образуется прямая призабойная промывка.

Перевернув насос на 180°, по этой схеме можно осуществлять бурение с обратной промывкой.

Для лучшей очистки промывочной жидкости от бурового шлама описанный снаряд можно оснащать несколькими шлагоулавливающими трубами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга выше колонковой трубы.

Основное преимущество данного снаряда перед снарядом конструкции СКБ, по мнению его авторов, заключается в том, что он может использоваться для бурения по твердым породам.

Испытания этого снаряда показали, что тормозной момент, создаваемый распорным устройством снаряда о стенки скважины, недостаточен для нормальной работы снаряда. Проведенные исследования привели к выводу о необходимости увеличения тормозного момента снаряда за счет совершенствования распорной системы.

Из изложенного видно, что подача винтовых погружных насосов с приводом от вращающихся штанг довольно низкая, а тормозной момент, создаваемый о забой и стенки скважины, — мал. Поэтому для успешного применения винтовых насосов необходимо добиться увеличения их подачи и тормозного момента.

В Пермском филиале ВНИИБТ разработан винтовой гидравлический двигатель типа Д диаметрами 172 и 85 мм, который выпускается серийно. Он успешно применяется с долотами диаметрами 214 и 97 мм при бурении и капитальном ремонте нефтяных скважин.

Для геологоразведочного бурения разработан малогабаритный винтовой двигатель Д-54 для долот диаметрами 59 и

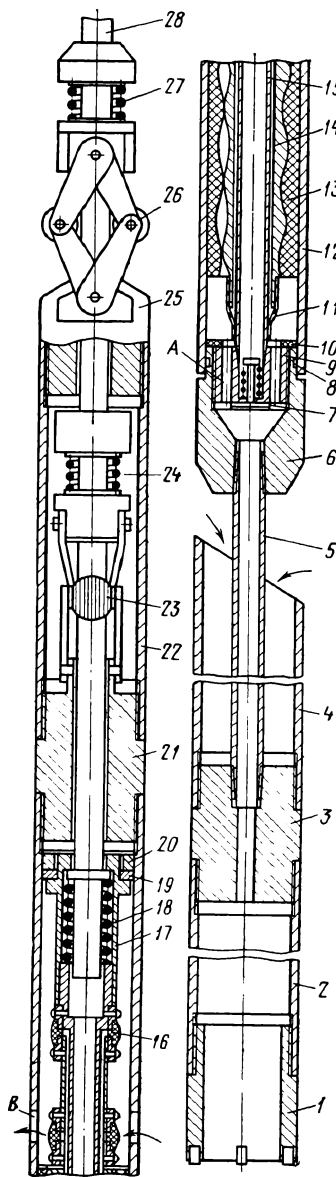


Рис. 23. Колонковый снаряд с винтовым насосом конструкции А. А. Волокитенкова, В. И. Максимова, М. М. Розина, В. М. Швецова [5]:

1 — коронка; 2 — колонковая труба; 3, 6, 21, 25 — переходники; 4 — шламовая труба; 5, 28 — бурильные трубы; 7 — обратный клапан; 8 — уплотнение; 9 — обойма; 10 — уплотнительное кольцо; 11 — резиновый чулок; 12, 13, 14 — детали винтового насоса; 15 — труба; 16 — гибкая муфта; 17 — квадратное соединение; 18, 24, 27 — пружина; 19 — резиновая обойма; 20 — упорное кольцо; 22, 23, 26 — детали распорного устройства; А, В — отверстия

76 мм. Однако эти двигатели, работающие за счет подачи промывочной жидкости по бурильным трубам с поверхности, могут создавать только прямую циркуляцию промывочной жидкости [19].

§ 4. ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА, СОЗДАВАЕМАЯ ЭРЛИФТОМ ЧЕРЕЗ БУРИЛЬНЫЕ ТРУБЫ

Всасывающую обратную промывку можно создавать с помощью эрлифта. Эрлифтом называют воздушные водоподъемники, работающие на принципе установления разности уровней жидкости с разными плотностями в сообщающихся сосудах.

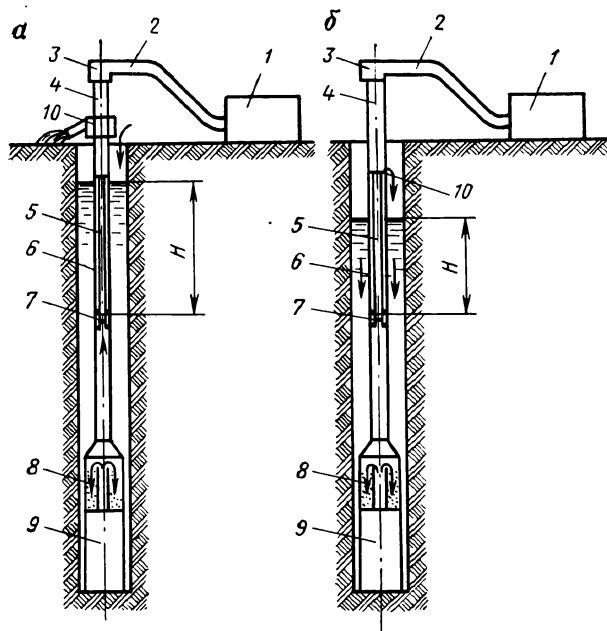


Рис. 24. Принципиальная схема эрлифтной установки для бурения с всасывающей обратной промывкой с использованием промывочной жидкости, подаваемой в скважину с поверхности (а) и с использованием грунтовых вод, имеющихся в скважине (б):

1 — компрессор; 2 — нагнетательный шланг; 3 — сальник; 4 — бурильные трубы; 5 — воздушные трубы; 6 — водоподъемные трубы; 7 — смеситель (форсунка); 8 — шламовая труба; 9 — колонковая труба; 10 — пульпосбрасыватель

На рис. 24 дана принципиальная схема эрлифтной установки для бурения с всасывающей обратной промывкой.

Эта схема имеет две разновидности: а) с использованием промывочной жидкости, подаваемой в скважину с поверхности; б) с использованием грунтовых вод, находящихся в скважине (местная обратная промывка).

В первом варианте вода поступает в скважину из отстойника

по желобу и, проходя по затрубному пространству, омывает буровой наконечник, поступая внутрь колонковой трубы 9.

Во втором варианте для создания обратной промывки используют или одну грунтовую воду, находящуюся в скважине, или два вида воды: поступающую в скважину с поверхности и грунтовую. Двигаясь от забоя, вода проходит через колонковую трубу 9, шламовую трубу 8 и поступает внутрь колонны водоподъемных бурильных труб 6, где ее заставляет подниматься вверх воздух. Воздух поступает внутрь скважины от компрессора 1 по воздушным трубам 5. В смесителе 7 воздух перемешивается с водой, находящейся в колонне бурильных труб 4. Образующаяся при этом смесь воздуха и воды (аэрированная жидкость) поднимается по водоподъемной колонне труб вверх и изливается или в отстойник через отводной шланг 10 (первый вариант эрлифтной промывки) или в кольцевое пространство скважины над уровнем грунтовых вод через отверстия в водоподъемных трубах (второй вариант).

Движение жидкости возникает за счет разности плотностей ее в затрубном пространстве и в водоподъемных трубах. В водоподъемных трубах за счет насыщения жидкости сжатым воздухом плотность снижается и по закону сообщающихся сосудов она поднимается вверх. Вследствие возникновения перепада давления в сообщающихся каналах промывочная жидкость из скважины начинает перетекать внутрь колонны водоподъемных труб. Так осуществляется всасывающая обратная промывка скважины над уровнем грунтовых вод (через отверстия в водоподъемных трубах) или в отстойник (через отводной шланг 10), из которого она вновь направляется в скважину.

Существенным фактором, обуславливающим эффективность работы эрлифта, является глубина погружения смесителя 7. Его располагают обычно в скважине ниже статического уровня жидкости на глубине, соответствующей $1/3$ расстояния от статического уровня жидкости до забоя скважины (при бурении неглубоких скважин).

Начальная глубина погружения смесителя эрлифта под уровень промывочной жидкости должна быть не менее высоты подъема промывочной жидкости, обогащенной воздухом, над ее статическим уровнем в скважине. С увеличением глубины погружения смесителя повышается скорость движения потока промывочной жидкости, а следовательно, и его шламоподъемная способность. Наибольшая глубина погружения смесителя определяется величиной максимального давления воздуха, вырабатываемого компрессором.

Для создания большего перепада давления можно или увеличить глубину погружения смесителя, или установить дополнительные аэраторы выше его. Аэраторы обеспечивают насыщение промывочной жидкости воздухом в трубах в начальный момент работы эрлифта. Такая система эрлифта дает возможность произво-

дить откачку с глубин, превышающих технические возможности компрессора при использовании одного смесителя.

Воздухопроводные трубы располагают параллельно или концентрически по отношению к колонне бурильных труб. Параллельно устанавливаемые воздухопроводные трубы обычно приваривают к бурильным трубам.

Наиболее часто осуществляют бурение скважин с применением эрлифта с помощью двойной колонны с концентрическим расположением труб. Причем воздух может подаваться как по внутренней колонне, так и по кольцевому межтрубному пространству. Для нормальной работы эрлифта необходимо, чтобы колонна труб была герметична.

По заданию Министерства геологии СССР сконструирована и изготовлена буровая установка, которая создает всасывающую промывку. Вода поступает в скважину самотеком из отстойника, а отсос ее с забоя по бурильным трубам осуществляется сжатым воздухом. Воздух от компрессора подается к смесителю по двум трубкам небольшого диаметра, приваренным с разных сторон к бурильным трубам.

При прекращении подачи воздуха зашламованная вода может попадать через отверстия смесителя в воздухопроводные трубы, что приводит к их засорению. Чтобы этого не произошло, в смесителях устанавливают обратные клапаны.

В отечественной и зарубежной практике бурения скважин глубиной от 100 до 400 м нашла достаточно широкое применение внутрискважинная (без выхода на поверхность) обратная циркуляция промывочной жидкости с помощью эрлифта.

Для обеспечения обратной циркуляции промывочной жидкости необходимо, чтобы перепад давления, создаваемый эрлифтом, был больше гидравлических сопротивлений в буровом снаряде и скважине. Перепад давления зависит от глубины погружения смесителя, а также от давления и подачи компрессора.

Эрлифтный способ обратной промывки целесообразно применять в следующих случаях [10]:

- при поглощении промывочной жидкости и затрудненном водоснабжении буровых объектов;

- в комбинации с продувкой забоя воздухом при появлении в скважине водопритоков;

- для получения кондиционного выхода керна в породах, склонных к растворению, размыву и избирательному истиранию;

- когда безнасосный и другие способы обратной промывки при бурении скважин глубиной более 150—200 м в породах трещиноватых и высокой твердости оказываются ненадежными и малоэффективными.

Эрлифтный способ нецелесообразно применять при бурении мощных зон глиноподобных перетертых пород, вызывающих закупорку промывочных каналов коронки липким шламом, а также мощных зон осыпавшихся пород, бурящихся алмазными коронками.

В первый период применения эрлифтной промывки при проходке неустойчивых пород промывку скважин осуществляли глинистым раствором. В дальнейшем была выявлена возможность удержания стенок скважины от обрушения избыточным гидростатическим давлением столба промывочной жидкости, т. е. давлением, создающимся в результате разности уровня жидкости, поддерживаемого в скважине в процессе бурения и, статического уровня грунтовых вод.

Повышение уровня грунтовых вод на 3 м и более обычно гарантирует устойчивость стенок скважины в разрезах, сложенных рыхлыми водонасыщенными породами. Устойчивости стенок способствуют также малое число спуско-подъемных операций, быстрота бурения скважин, спокойный нисходящий поток жидкости вдоль стенок. При выборе участка работ следует учитывать рекомендуемые области рационального применения эрлифтного способа бурения скважин.

Бурение скважин с эрлифтной промывкой возможно с глубины 60—70 м при устойчивом (в течение рейса) уровне жидкости, обеспечивающем погружение смесителя эрлифта на глубину не менее 50 м ниже этого уровня. Предельная глубина бурения в таких случаях зависит от типоразмера эрлифтного насоса и ограничивается величиной гидравлических сопротивлений при заданном количестве циркулирующей жидкости. Эрлифтную промывку можно применять в скважинах, в которых зона неустойчивых пород имеет небольшую мощность или когда такую зону можно перекрыть обсадными трубами.

Трещиноватость пород не является препятствием для применения эрлифтной промывки с использованием качественного глинистого раствора.

Конструкции скважин, намеченных для бурения с эрлифтом, должны обеспечивать возможность размещения в интервале ниже уровня жидкости выбранного типоразмера эрлифта как по диаметру, так и по длине.

Открытые способности удержания стенок скважины избыточным гидростатическим давлением позволило использовать при бурении в качестве промывочной жидкости техническую воду при значительном сокращении расхода обсадных труб. Особенно положительно сказалось применение воды при бурении скважин, предназначенных для водоснабжения. Значительно сократилось время на освоение скважин за счет отсутствия разглинизации их стенок, которая имеет место при бурении с глинистым раствором. Кроме того, скважины, пробуренные без применения глинистого раствора, имеют большие дебит и срок службы, чем с применением глинистого раствора.

Наиболее эффективно применять эрлифтную циркуляцию при бурении скважин на воду в разрезах пород, сложенных рыхлыми отложениями: песками, глинами, суглинками, супесями и другими породами [18].

Буровое оборудование и конструкции эрлифтных буровых снарядов

Оборудование стационарных буровых установок, на которых применялась обратная эрлифтная промывка, отличается от обычных установок наличием компрессора и эрлифтного насоса. Эрлифтные насосы имеют длину 60—70 м. Положительные результаты получены при погружении смесителя на глубину 50 м — ниже статического уровня воды в скважине.

При бурении с всасывающей обратной промывкой, создаваемой с помощью эрлифта, могут применяться различные виды буровых наконечников.

На рис. 25 изображен колонковый снаряд для шарошечного бурения с эрлифтом. В Кривбассе снаряд применяли в сочетании с шарошечными колонковыми долотами типа 2КД10-6ВК, 4В-6АТ, 6-6ВК диаметром 145 мм с центральным отверстием диаметром 28 мм при бурении слаботрешиноватых пород VIII—X категорий по буримости на глубину до 500 м.

Снаряд позволяет бурить скважины с всасывающей обратной промывкой при полном поглощении промывочной жидкости в скважинах. Вместе с промывочной жидкостью внутри снаряда по направлению к смесителю 8 поднимаются шлам и крупные кусочки породы, которые осаждаются в шламовой трубе длиной 10 м с центральной трубой диаметром 63,5 мм.

Скважины бурили станками ЗИФ-1200А и ЗИФ-650А, использовали компрессоры ДК-9 и ДК-600. Утяжеленные трубы имели диаметр 127 мм с открытой шламовой трубой того же диаметра. Эрлифтная часть снаряда имела длину 63 м с бурильными трубами диаметром 50 мм. Смеситель эрлифта погружался ниже статического уровня подземных вод на 50 м, а сам статический уровень находился на глубине 60—70 м от устья скважины. При соотношении глубины погружения смесителя ко всей длине эрлифта 50/63 была обеспечена нормальная работа эрлифта.

Для бурения скважин с эрлифтной обратной промывкой в ВИТРе разработан комплекс технических средств КОЭН (рис. 26) [10].

Комплекс КОЭН может применяться для бурения скважин диаметрами 76—132 твердосплавными и алмазными коронками, а также шарошечными долотами в породах не ниже IV категории по буримости.

Эрлифт комплекса КОЭН представляет собой концентрическую колонну труб, включенную в состав бурового снаряда в интервале, находящемся в зоне ниже статического уровня жидкости.

Комплекс КОЭН состоит из наземного (а) и скважинного (б) оборудования.

На рис. 27 показана схема размещения наземного оборудования и обвязки при бурении с эрлифтной всасывающей промывкой. При такой схеме обвязки обеспечивается в случае необходимости оперативное чередование прямой и обратной промывок.

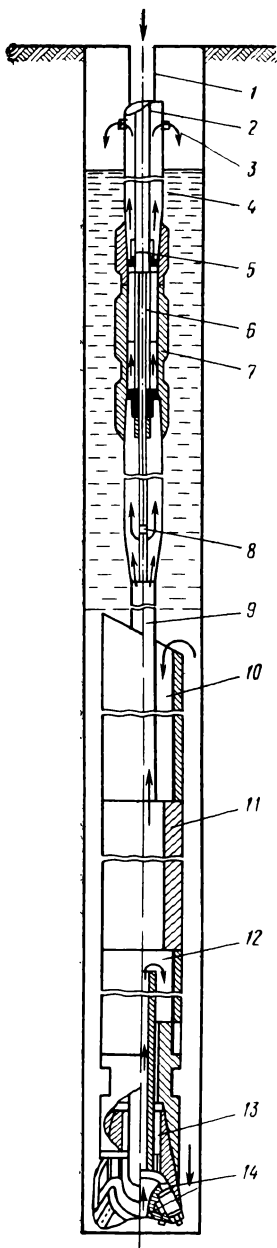


Рис. 25. Колонковый снаряд для шарошечного бурения с эрлифтной промывкой:
 1, 9 — бурильные трубы; 2 — воздухопроводящая труба; 3 — сливное отверстие; 4 — водо-
 подъемная труба; 5 — упорная гайка; 6 — промежуточная труба; 7 — муфтово-замковое сое-
 динение; 8 — смеситель; 10 — шламовая труба; 11 — утяжеленные трубы; 12 — закрытая
 шламовая труба; 13 — центральная труба; 14 — шарошечное долото

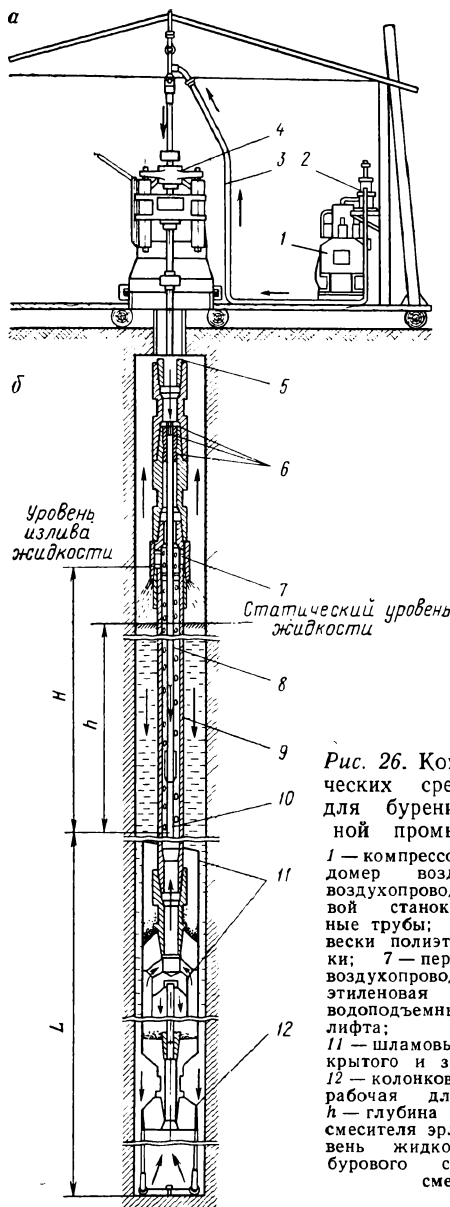


Рис. 26. Комплекс техни-
 ческих средств КОЭН
 для бурения с эрлифт-
 ной промывкой [10]:

1 — компрессор; 2 — раско-
 домер воздушный; 3 —
 воздухопровод; 4 — буро-
 вой станок; 5 — буриль-
 ные трубы; 6 — узел под-
 вески полиэтиленовой тру-
 бки; 7 — переходник; 8 —
 воздухопроводящая поли-
 этиленовая трубка; 9 —
 водоподъемные трубы эр-
 лифта; 10 — смеситель;
 11 — шламовые трубы
 открытого и закрытого типа;
 12 — колонковая труба; Н —
 рабочая длина эрлифта;
 h — глубина погружения
 смесителя эрлифта под ур-
 овень жидкости; L — длина
 бурового снаряда ниже
 смесителя

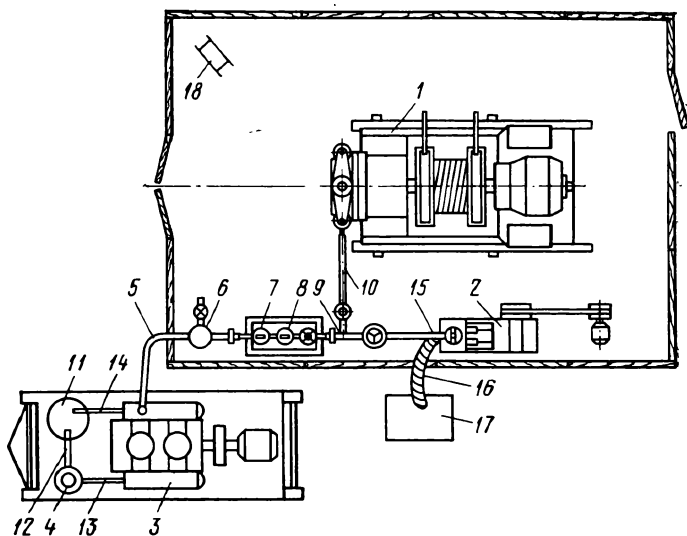


Рис. 27. Схема размещения и обвязки наземного оборудования при бурении комплексов КОЭН с эрлифтной промывкой [10]:

1 — буровой станок; 2 — буровой насос; 3 — компрессор; 4 — центробежный насос; 5 — воздухопровод; 6 — маслолагоотделитель; 7 — расходомер воздушный; 8 — манометр; 9 — гидронеуматический узел обвязки; 10 — нагнетательный шланг; 11 — градирня; 12, 13 — всасывающий и нагнетательный шланги; 14 — шланг для сброса воды из компрессора; 15 — трубопровод; 16 — всасывающий шланг; 17 — зумпф; 18 — лебедка для подъема полиэтиленовой трубы

В комплект наземного оборудования входит лебедка для подъема полиэтиленовых труб длиной 100—200 м из колонны водо-подъемных труб. Применение лебедки позволяет повысить срок службы полиэтиленовой трубки за счет снижения вероятности ее механического повреждения (заломов, царапин и др.) как при спуско-подъемных операциях, так и при ее транспортировке. При проведении спуско-подъемных операций лебедку устанавливают в удобном для работы месте вблизи устья скважины, а направляющий ролик — на муфту верхней свечи водоподъемных (бурильных) труб. Компрессор и двигатель к нему помещают на общей сварной раме.

Наиболее полно удовлетворяют требованиям бурения геолого-разведочных скважин компрессоры высокого давления типа ВК-25, поставляемые Мелитопольским компрессорным заводом. Они обеспечивают подачу воздуха в пределах от 1 до 2 м³/мин при давлении 1,0—2,5 МПа, что позволяет бурить скважины глубиной 600—1000 м. Потребляемая мощность компрессоров не превышает 22 кВт при электрическом приводе и 14,7 кВт при дизельном.

Компрессорные установки ВК-25 выпускают в виде двух модификаций: с электрическим приводом — ВК-25ЭМ и с дизельным — ВК-25Д1.

Компрессоры имеют систему водяного охлаждения. В компрессорной установке ВК-25Д1 охлаждение цилиндров компрессора и

двигателя происходит от общей системы охлаждения. Циркуляция охлаждающей жидкости осуществляется вихревым насосом с подачей 0,8 м³/ч и приводом вала ДВС посредством системы шестерен.

Компрессорная установка ВК-25ЭМ укомплектована вихревым насосом того же типа, что и установка ВК-25Д1.

Центробежный вихревой насос 1СЦВ-1,5М предназначен для перекачки воды (без абразивных частиц). Подача его 10—25 л/мин при максимальном давлении 0,2 МПа, мощность электродвигателя 0,4 кВт, частота вращения двигателя 1440 об/мин. Насос укомплектован пускателем ЦНВС-10 (включение насоса без пускателя не допускается). Рекомендуемая высота всасывания центробежного насоса не более 6 м, внутренний диаметр всасывающей трубы 25 мм, нагнетательной 20 мм.

Перед пуском насос необходимо заливать водой. В зимнее время его устанавливают в отапливаемом помещении.

Компрессор целесообразно монтировать вместе с системой охлаждения (градирня, центробежный насос) на прочной раме; вместимость градирни (бак для охлаждающей воды) должна составлять 0,5—0,4 м³.

Конструкция эрлифтных насосов

Эрлифтный насос предназначен для создания всасывающей обратной промывки. В практике геологоразведочных работ применяют несколько типов эрлифтных погружных насосов. Они отличаются друг от друга конструктивным исполнением двойных колонн бурильных труб, смесителей, шламоулавливающих приспособлений и буровых наконечников.

Эрлифтный насос представляет собой колонну водоподъемных труб диаметром 63,5 мм или 60,3 мм с замковыми соединениями. Внутри этой колонны размещаются или металлические, или полиэтиленовые воздухопроводные трубы. По этим трубам воздух, поступающий от компрессора, подводится к смесителю, закрепленному на их нижнем конце. Общая длина эрлифтного насоса с металлическими воздухопроводными трубами обычно не превышает 60—70 м, а с полиэтиленовыми может достигать 200 м.

Для ускорения спуско-подъемных операций трубы, составляющие эрлифтный насос, разбиваются на свечи. В Кривбассе применяли свечи с металлическими воздухопроводными трубами. Длина свечей не более 7 м. Такие свечи удобны для транспортировки. Соединение свеч эрлифта можно осуществлять различными способами.

Свердловским горным институтом совместно с Уральским ГИ разработана конструкция эрлифтного насоса, состоящая из колонны бурильных труб диаметром 63,5 мм с муфто-замковыми соединениями и воздухопроводных труб, изготовленных из газовых труб диаметром 21,5 мм. Проходные отверстия в замках и высаженные концы бурильных труб расточены до 45 мм.

Воздухопроводные трубы спускают в скважину не параллельно, а последовательно, вначале — водоподъемные, а затем воздухопроводные. Подъем осуществляют в обратной последовательности.

ВИТР разработал две конструкции эрлифтных насосов, принципиально отличающихся исполнением внутренней воздухопроводной трубы; с металлическими и с гибкими полиэтиленовыми воздухопроводными трубами.

На рис. 28 изображен эрлифтный насос конструкции ВИТР СЭ-63,5, который представляет собой колонну бурильных труб диаметром 63,5/51,5 мм, внутри которой размещены металлические трубы.

Эрлифтные трубы собраны в секции (свечи). Первая сверху свеча эрлифта состоит из отражателя 1, переходника для излива водовоздушной смеси 2, бурильной трубы 3, конуса замкового соединения 4, внутренней трубки 7, опорной втулки 6, натяжного винта 8, медных прокладок 9, переходника 10 с бурильных труб диаметром 63,5 мм на бурильные трубы диаметром 50 мм.

Отражатель 1 предназначен для предохранения стенок скважины от размыва в случае отсутствия обсадных труб в скважине. Он представляет собой отрезок колонковой трубы диаметром 108/99 мм, приваренный к кольцу, которое крепится к переходнику 2 тремя винтами М8×10. Внутренняя трубка 7 служит для прохождения сжатого воздуха. На ней с одной стороны приварена опорная втулка 6 с наружной резьбой, а с другой — нарезана внутренняя резьба. С помощью втулки 6 с наружной резьбой внутренняя трубка закрепляется в переходник 2, в конусе замкового соединения 4 трубка закрепляется с помощью натяжного винта 8. Опорная втулка 6, внутренняя трубка 7 и натяжной винт 8 образуют единый канал для прохода потока воздуха через свечу.

Герметизация внутренних труб достигается за счет сжатия медных прокладок 9 при сборке свечи. Для создания более надежной герметизации нижнего конца трубы 7 натяжной винт 8 можно поджать круглой гайкой с наружной резьбой.

Промежуточные свечи отличаются от верхней свечи тем, что вместо переходника 2 на их верхних концах накручены двухпрорезные муфты 5 специального замкового соединения.

В корпусе и в муфте равномерно по окружности расположены цилиндрические каналы, предназначенные для прохода водовоздушной смеси через замковое соединение. Суммарная площадь проходных каналов 9,5 см².

Последняя (нижняя) свеча является переходной от эрлифта к колонне бурильных труб диаметром 50 мм.

Для надежной работы эрлифтного насоса и обеспечения достаточной промывки забоя скважины необходима надежная герметизация не только внутренних воздухопроводных труб, но и полости водоподъемных труб во избежание подсоса жидкости из скважины.

В приведенной конструкции замков при свинчивании конических резьбовых соединений происходит стыковое соединение полостей

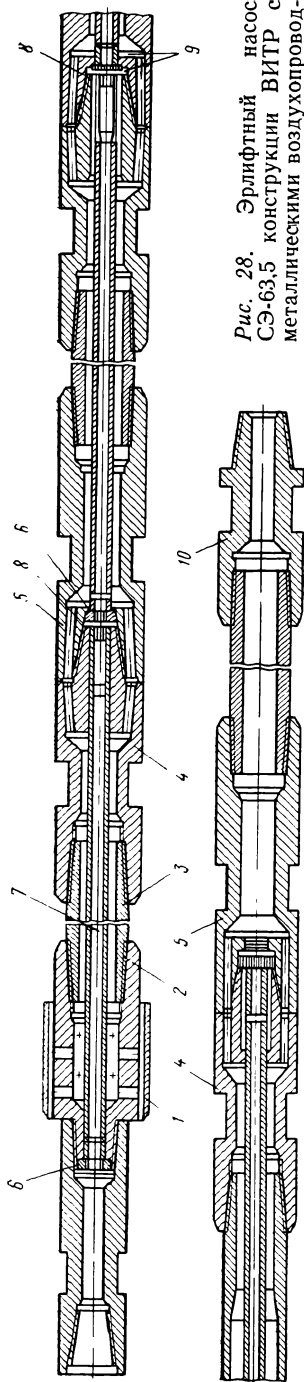


Рис. 28. Эрлифтный насос СЭ-63,5 конструкции ВИТР с металлическими воздухоподводящими трубами [5]

водоподъемных труб и центральных воздухоподводящих труб. Утечка воздуха предотвращается натягом замковой резьбы, а герметизация полости водоподъемных труб—посредством клинового стыка муфты 5 и конуса 4. Для этого на торце конуса 4 со стороны замковой резьбы есть специальный зуб, который входит в паз на торце муфты при свертывании замка. Такая конструкция замков обеспечивает достаточную герметичность соединений, позволяет использовать для спуско-подъемных операций элеваторы любого типа и обеспечивать наибольшую величину проходных сечений в замках.

Разработанные ВИТР эрлифтные насосы с металлическими воздухоподводящими трубами по своей технической характеристике наиболее совершенны.

В табл. 12 приведены технические характеристики эрлифтных насосов конструкции ВИТР, СГИ и экспедиции Кривбассгеология с металлическими воздухоподъемными трубами.

Увеличенные размеры проходных каналов в эрлифтных насосах конструкции ВИТР увеличивают его подачу и возможную глубину бурения.

В то же время всем конструкциям эрлифтных насосов с металлическими воздухоподводящими трубами присущи недостатки:

сложность в изготовлении и сборке, которую надо осуществлять предварительно на поверхности;

невозможность применения труб диаметром менее 63,5 мм в качестве водоподъемных;

невысокая надежность в эксплуатации ввиду частой поломки внутренних труб и нарушения герметичности соединений;

уменьшение сечения проходных каналов в замковых соединениях за счет соединений и уплотнений воздухопроводных труб приводит к снижению подачи вследствие возникновения значительных гидравлических сопротивлений в этих местах.

Показатели	Эрлифтные насосы		
	СЭ-63,5 конструкции ВИТР	конструкции треста Крив- бассгеология	конструк- ции СГИ
Диаметр водоподъемных труб, мм	63,5/57,5	63,5/57,5	63,5/57,5
Диаметр воздухоподводящих труб, мм	22/16	21,5/16	21,5/16
Тип замкового соединения труб	Специальный быстро- разъемный	Быстроразъемный	
Наружный диаметр замковых соединений, мм	86	83	83
Длина эрлифта, м	60—70	60—70	60—70
Площадь поперечного кольцевого сечения во- доподъемных тру (минимальная), см ²	17	17,2	17,2
Подача, л/мин	100—55	80—50	70—50
Пределы возможных глубин бурения под ста- тический уровень при указанной подаче, м	100—660	100—550	100—475
Необходимый расход воздуха (по условиям всасывания), м ³ /мин	0,8—1,2	0,75—1,2	0,7—1,0

Все эти недостатки отсутствуют в эрлифтных насосах с гибкими полиэтиленовыми воздухоподводящими трубками конструкции ВИТР, которые применяют в комплексе КОЭН. В этом комплексе полиэтиленовую трубку 5 (рис. 29) в муфте 4 подвешивают с помощью узла подвески (конус 2 и гайка 3), который в собранном виде постоянно закреплен на этой трубке. Узел подвески герметизируется при навинчивании свечи бурильных труб сжатием кольца 11 и медной прокладки 12.

Сливные отверстия в верхней части водоподъемных труб располагают выше статического уровня жидкости в скважине на величину

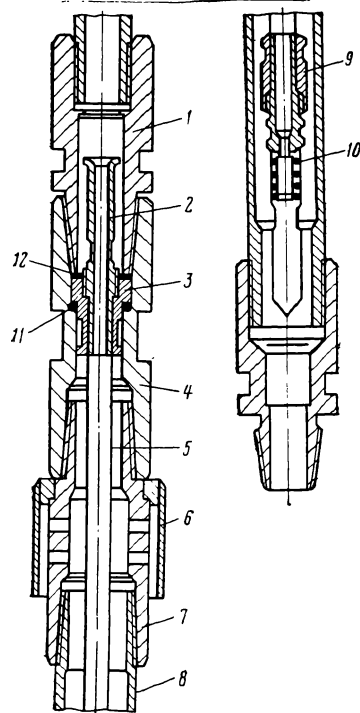


Рис. 29. Эрлифтный насос комплекса КОЭН с полиэтиленовой трубкой [10]:

1 — конус замка, закрепляющего узел подвески; 2, 3 — конус и гайка для подвески полиэтиленовой трубки; 4 — муфта замка; 5 — полиэтиленовая трубка; 6 — отражатель; 7 — переходник для излива водовоздушной смеси; 8 — водоподъемная труба; 9 — штуцерный переходник; 10 — смеситель; 11, 12 — кольцо и прокладка уплотнения

ну рейсовой проходки 5—8 м. Смеситель 10 выполнен из отрезка металлической трубы длиной 1—2 м и диаметром, близким к диаметру полиэтиленовых трубок. Отрезок полиэтиленовой трубки диаметром 16 или 20 мм при длине 100 м имеет массу не более 10—15 кг, а сам полиэтилен легче воды. Поэтому металлический смеситель служит утяжелителем, облегчающим погружение полиэтиленовой трубки в жидкость. Для изготовления полиэтиленовых трубок рекомендуется применять полиэтилен ПВП МРТУ 6-05-917-67 (полиэтилен высокой плотности) или ПНП МРТУ 6-05-918-67 (полиэтилен низкой плотности).

Полиэтиленовые трубки выпускают диаметрами 16/10, 16/12, 20/15 мм. Они выдерживают давление 1,5—2,0 МПа; достаточно прочны и гибки при температурах от —30 до +40 °С; не подвержены коррозии, стойки к воздействию растворов солей, щелочей, минеральных кислот.

Техническая характеристика эрлифтных насосов с полиэтиленовыми воздухопроводящими трубками приведена в табл. 13 [10].

Таблица 13

Показатели	Эрлифтные насосы			
	НЭ-50П	НЭ-60,3П	НЭ-63,5П	
			I	II
Диаметр водоподъемных (бурильных) труб, мм	50/39	60,3/50	63,5/61,5	63,5/51,5
Диаметр воздухоподводящих (полиэтиленовых) труб, мм	16/12	16/12	16/12	20/15
Подача, л/мин	50—40	70—50	120—60	110—60
Тип замкового соединения	Стандартный			
Диаметр проходного сечения замков, мм	30	28	42	42
Площадь проходного кольцевого сечения, см ²				
водоподъемных труб	10,35	17,6	18,8	17,6
в замках	5,05	4,15	11,8	10,5
Пределы глубины бурения ниже статического уровня при указанной подаче, м	150—500	100—600	100—650	100—575
Рабочий напор, м вод. ст. (в числителе) и необходимый расход воздуха при указанной выше подаче, м ³ /мин (в знаменателе), при длине эрлифта в м:				
70	10—15	10—20	16—34	14—31
	0,6—0,7	0,8—0,9	1,2—1,4	1,1—1,2
100	15—20	15—31	25—51	22—48
	0,7—0,8	0,9—1,0	0,6—1,7	1,5—1,6
150	25—35	25—50	40—50	35—75
	0,9—1,0	1,0—1,1	2,0—2,1	1,8—1,9

Буква П в названиях насосов означает, что воздухопроводящая труба полиэтиленовая. Эрлифтные погружные насосы с полиэти-

леновыми воздухоподводящими трубками (см. рис. 29) отличаются друг от друга геометрическими размерами труб и подачей насоса.

Использование полиэтиленовых трубок в качестве воздухоподводящих не требует больших затрат времени на сборку и демонтаж эрлифтного насоса. Благодаря тому что полиэтилен легче воды

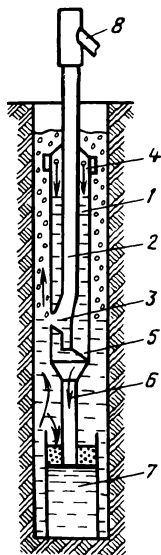


Рис. 30. Принципиальная схема эрлифта конструкции Красноярского ГУ [5]:

- 1 — наружные трубы; 2 — внутренняя труба;
3 — смеситель; 4 — водосборник; 5 — клапан;
6 — соединительная трубка; 7 — колонковая труба;
8 — нагнетательная линия

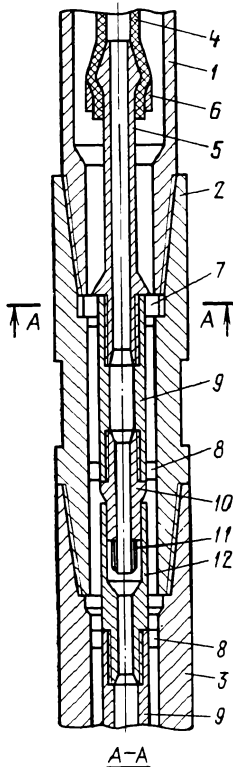


Рис. 31. Двойная колонна эрлифтного насоса конструкции Красноярского ГУ [5]:

- 1 — буртильная труба $d=63,5$ мм; 2 — ниппель и муфта замка; 4 — прорезиненный шланг; 5 — соединительная трубка; 6 — конусное кольцо; 7 — опорное кольцо; 8 — центрирующее кольцо; 9 — муфта; 10 — хвостовик; 11 — уплотнительное кольцо; 12 — раструб

(плотность его 0,92), спуск и подъем полиэтиленовых трубок можно производить вручную или с помощью лебедки (масса полиэтиленовой трубки длиной 70 м составляет 7—8 кг).

Партия новой техники Красноярского ГУ разработала и испытала в производственных условиях конструкцию эрлифтного насоса, позволяющую бурить как с обратной циркуляцией промывочной жидкости, так и с прямой.

На рис. 30 показана принципиальная схема эрлифтного насо-

са для бурения скважин с прямой промывкой. При бурении с прямой промывкой используют промывочную жидкость, находящуюся в скважине. Эрлифтный насос погружают полностью под статический уровень жидкости.

Воздух от компрессора по нагнетательному шлангу 8 через промывочный сальник направляется по бурильным трубам к смесителю 3, соединенному с затрубным пространством. Воздушно-водяная смесь из смесителя 3 проходит в затрубное пространство и поднимается вверх, а ее место стремится занять промывочная жидкость, поступающая от забоя.

Выделяющийся из аэрированной жидкости воздух выходит на поверхность через устье скважины, а жидкость через отверстия в водосборнике 4 поступает из скважины в кольцевое пространство между наружной 1 и внутренней 2 трубами и далее к забою, омыв который она течет вверх.

При создании обратной циркуляции промывочной жидкости смеситель 3 заменяют (он не сообщается с затрубным пространством), а водосборник 4 должен играть роль водосбрасывателя и располагаться выше статического уровня жидкости.

Длина эрлифтной колонны при прямой промывке составляет около 150 м, а при обратной 75—80 м. Для создания прямой промывки смеситель погружают на 50—70 м ниже статического уровня, что обеспечивает получение перепада давления 1,0—1,2 МПа.

При обратной промывке смеситель 3 погружают под статический уровень воды в скважине на 55—65 м, что обеспечивает перепад давления около 0,5 МПа.

На рис. 31 показана конструкция двойной колонны эрлифтного насоса конструкции Красноярского ГУ. Наружная колонна 1 vyplнена из бурильных труб диаметром 63,5 мм и имеет стандартные замковые соединения 2, 3 штанг. В качестве воздухопроводной трубы служит прорезиненный шланг 4 диаметром 28/18 мм. Отрезки шлангов стыкуют с помощью скользящих соединений, состоящих из хвостовика 10 с уплотнительным кольцом 11 и раструба 12.

За рубежом [5] для бурения скважин с применением эрлифта используют двойные колонны с концентрическим и параллельным расположением труб.

В США разработана эрлифтная буровая установка, в которой обратная промывка создается нагнетаемым в скважину сжатым воздухом по кольцевому зазору двойной колонны труб. Бурильная колонна состоит из соединенных специальными муфтами наружных и внутренних труб, образующих кольцевой зазор, по которому нагнетается воздух. Воздух подается компрессором к подвешенной на вертлюге специальной головке с воздушным кольцевым каналом. Оттуда через продольные каналы квадратной штанги и кольцевой канал труб воздух поступает в соединенный с долотом внутренний патрубок, выполняющий роль эмульгатора (смесителя). Кольцевой канал труб над эмульгатором перекрыт манжетой

с перевернутым V-образным поперечным сечением. Манжета служит обратным клапаном для нагнетаемого воздуха и препятствует попаданию в кольцевой канал промывочной жидкости с забоя. Через боковые отверстия патрубка воздух попадает в осевой канал внутренних труб. Здесь он смешивается с промывочной жидкостью. Аэрированная жидкость поднимается на поверхность и стекает в отстойник. Из отстойников она самотеком поступает в скважину.

Б. В. Свелл предлагает отработанную схему для бурения с непрерывным подъемом керна на поверхность. Он использует принцип эрлифта для создания обратной циркуляции. Воздух поступает в скважину по кольцевому зазору, выходит в призабойной зоне через отверстия во внутреннюю трубу, аэрирует жидкость и заставляет ее подниматься вверх, унося куски керна. Промывочная жидкость доставляется на забой простым подливом ее с поверхности. Концентрические трубы соединены замками с двумя резьбами и с периферическими сверлениями.

Такую же схему использует И. Коста (Италия), но только для выноса шлама при роторном бурении. Воздух поступает также по кольцевому зазору между внутренней и наружной трубами.

Определение рабочих параметров эрлифтных насосов

Величины подачи эрлифтных насосов, указанные в табл. 12 и 13, достигаются при строго определенном расходе воздуха. Уменьшение или увеличение количества воздуха приводит к уменьшению подачи насоса и появлению пульсации в подаче жидкости вплоть до полного ее прекращения [10].

Работа эрлифтного насоса зависит от величины сопротивлений на пути обратного потока жидкости: с ростом сопротивлений подача насоса снижается.

Сопротивление в системе обратной циркуляции (на участке скважины и в буровом снаряде ниже смесителя эрлифта) повышается при следующих условиях: увеличении длины бурильной колонны по мере углубления скважины; заполнения колонковой трубы керном или закупоривании шламом проходных каналов коронки; при чрезмерном насыщении жидкости шламом.

Уменьшение подачи жидкости в результате гидравлических сопротивлений сопровождается падением давления воздуха (при неизменном его расходе), которое четко фиксируется по воздушному манометру на нагнетательной линии. Следовательно, по показаниям манометра можно контролировать работу эрлифтного насоса в процессе бурения, т. е. судить о наличии стабильной подачи жидкости или прекращении циркуляции. Это дает возможность своевременно принимать меры по восстановлению циркуляции и обеспечивать нормальный процесс бурения.

Рабочий напор эрлифта h_6 характеризуется разностью давлений столбов жидкости и воздушной смеси на уровне смесителя. Он затрачивается на преодоление гидравлических сопротивлений и численно равен суммарному сопротивлению в системе обратной

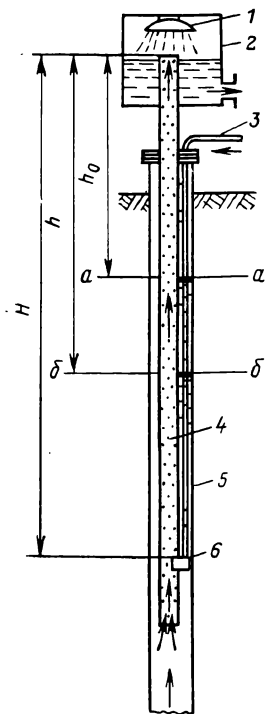


Рис. 32. Расчетная схема эрлифта [5]:

1 — отражатель; 2 — емкость; 3 — воздухопроводящие трубы; 4 — воздухоподъемные трубы; 5 — обсадные трубы; 6 — смеситель; H — глубина погружения смесителя от уровня излива; h и h_0 — глубины соответственно динамического и статического уровней жидкости в скважине

циркуляции жидкости в количестве, соответствующем подаче насоса. С ростом сопротивлений возрастает также и рабочий напор эрлифтного насоса, а его подача при этом самопроизвольно снижается.

При одинаковых величинах подачи эрлифтные насосы различных типоразмеров развивают различные по величине напоры. При одинаковом напоре насосы обеспечивают различную подачу жидкости Q .

Для эрлифтного насоса напор и давление у смесителя с учетом гидравлических потерь в буровом снаряде (рис. 32) составляют:

$$h_6 = (H - h) - h_c;$$

$$p_6 = \frac{(H - h - h_c) \gamma}{100} + p_2,$$

где h_6 — напор у смесителя, м; H — длина эрлифтного насоса (глубина погружения смесителя от уровня излива), м; h — глубина динамического уровня жидкости в скважине от уровня излива, м; $(H - h)$ — глубина погружения смесителя под динамический уровень жидкости в скважине, м; h_c — потери напора в скважине и буровом снаряде ниже смесителя, м; γ — относительный удельный вес жидкости; p_6 — давление жидкости у смесителя, МПа; p_2 — гидравлические потери давления в буровом снаряде, МПа.

Потери напора в скважине h_c определяют по формуле

$$h_c = \Sigma \lambda \frac{L_i}{d_i} \left(\frac{F_0}{F_i} \right)^2 \frac{u^2}{2g},$$

где L_i , d_i , F_i — соответственно длина, диаметр и площадь расчетных участков; u — скорость жидкости в буровых трубах, м/с; F_0 — площадь отверстия буровых труб, м²; g — ускорение свободного падения, м/с²; λ — коэффициент трения при движении жидкости. Для обратной промывки значения λ можно принять

$0,3165/\sqrt{d_i u_i \nu}$, где $u_i d_i$ — соответственно скорость и диаметр расчетных участков; ν — кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

После подстановки значения λ в предыдущую формулу и замены всех постоянных величин через q получим

$$h_c = q^4 \sqrt[4]{u^7},$$

где q — коэффициент, характеризующий размеры расчетных участков и свойств жидкости:

$$q = \Sigma \frac{0,3165 L_i}{2 g d_i} \sqrt[4]{\frac{v}{d_i} \left(\frac{F_0}{F_i} \right)^7}.$$

Из полученной формулы видно, что коэффициент q прямо пропорционален глубине скважины и обратно пропорционален ее диаметру. При глубине скважины от 0 до 600 м величина q колеблется от 7,5 до 60.

Чем больше размеры кольцевого канала между водоподъемными и воздухопроводными трубами, тем больше напор и подача эрлифтного насоса.

Каждый типоразмер эрлифтного насоса может обеспечить определенный максимально возможный рабочий напор, при котором его работа может считаться приемлемой по условиям подачи жидкости.

Рабочий напор эрлифта при необходимости можно увеличить за счет одновременного увеличения его длины (H) и глубины погружения смесителя ($H-h$).

Предельное значение глубины погружения смесителя $h_{\text{пред}} = H - h_0$, где h_0 — глубина статического уровня жидкости в скважине от уровня излива, м.

Величина $h_{\text{пред}}$ определяется с учетом максимального давления компрессора $h_{\text{пред}} = (p/\gamma_{\text{ж}}) 100$, где p — максимальное давление компрессора, МПа; γ — относительный удельный вес промысловой жидкости.

Для запуска эрлифта требуется давление компрессора $p_{\text{пуск}}$, превышающее давление столба жидкости высотой ($H-h_0$), т. е. $p_{\text{пуск}} \geq 0,01 (H-h_0) \gamma_{\text{ж}}$, МПа.

Общие потери напора в эрлифтом буровом снаряде при промывке водой составляют: $h_c = h_{\text{к}} + h_{\text{ш}}$, где $h_{\text{к}}$, $h_{\text{ш}}$ — потери напора соответственно в колонковом наборе и в штангах на участке ниже смесителя, м вод. ст.

При использовании глинистого раствора потери напора существенно возрастают и могут быть определены из выражения: $h_c = K(h_{\text{к}} + h_{\text{ш}})$, где K — поправочный коэффициент. В диапазоне расходов раствора $Q = 30-80$ л/мин $K = 1,2-1,4$. Значение K тем больше, чем выше вязкость и плотность глинистого раствора и чем ниже его расход.

Рабочее давление на компрессоре с учетом потерь давления на трение в воздушных трубах и поверхностной магистрали $p_{\text{к}} = p_{\text{б}} + p_{\text{п}} + p_{\text{с}}$, где $p_{\text{б}}$, $p_{\text{п}}$, $p_{\text{с}}$ — потери давления соответственно у смесителя, в поверхностной магистрали и в воздушных трубах эрлифта, МПа.

Длина эрлифтных насосов H с полиэтиленовыми трубами не должна превышать 190—200 м [10].

Типоразмер эрлифтного насоса, который обеспечивает стабильную промывку забоя скважины на заданной глубине, выбирается исходя из требуемого количества жидкости Q и суммарной величины гидравлического сопротивления в буровом снаряде h_c .

Подача эрлифтного насоса в первую очередь зависит от глубины погружения смесителя (форсунки), а также от производительности и давления компрессора.

Глубина погружения смесителя характеризуется коэффициентом погружения, который равен $K_{\Pi} = H/h$.

Эрлифт может работать при различных глубинах погружения смесителя ниже динамического уровня воды в скважине ($H-h$). Однако от этой величины зависит его к. п. д. С увеличением глубины погружения смесителя ниже динамического уровня, т. е. с увеличением H или уменьшением h , к. п. д. эрлифта увеличивается.

В табл. 14 показаны изменения к. п. д. эрлифта $\eta_{\text{э}}$ в зависи-

Таблица 14

Высота подъема воды над статическим уровнем h_0 , м	Коэффициент погружения смесителя K_{Π}	К. п. д. эрлифта $\eta_{\text{э}}$
До 15	3,0—2,5	0,59—0,57
15—30	2,5—2,2	0,57—0,54
30—60	2,2—2,0	0,54—0,50
60—90	2,0—1,75	0,50—0,41
90—120	1,75—1,65	0,41—0,40

мости от высоты подъема воды над статическим уровнем и рекомендуемого при этом коэффициента погружения смесителя.

Из табл. 14 видно, что для наивыгоднейшей работы эрлифта значение K_{Π} должно быть около 2—2,5. Однако работа эрлифта может осуществляться и при K_{Π} менее 1,65. Коэффициенты погружения величиной меньше 1,4 и больше 3 применяются только при кратковременной работе эрлифта.

При определении необходимого количества воздуха для работы эрлифта исходят из закона Бойля — Мариотта, по которому произведение давления газа на его объем есть величина постоянная $p_0 V_0 = p_{\Pi} V_{\Pi} = \text{const}$, где p_{Π} , p_0 — атмосферное давление и давление, под которым сжатый воздух подается к смесителю, Па; V_{Π} , V_0 — объемы воздуха при атмосферном давлении и давлении, при котором сжатый воздух подается к смесителю, м³.

Работа, затрачиваемая на сжатие воздуха при изотермическом процессе от атмосферного давления p до давления p_0 , определяется по формуле

$$A = pV \ln \frac{p_0}{p}.$$

Сжатый воздух производит работу A_1 , которая заключается в подъеме воды Q (м/с) на высоту h (м): $A_1 = Qh\gamma_{ж}$, где $\gamma_{ж}$ — удельный вес жидкости, Н/м³, для воды $\gamma_{ж} = 1$ кН/м³.

Работа сжатого воздуха за 1 с с учетом его к. п. д. (η_3) равна $A_2 = Qh\gamma_{ж}/\eta_3$.

Так как работа на сжатие воздуха равна работе, которую может совершать сжатый воздух, то

$$A = A_2, \text{ т. е. } pV \ln \frac{p_6}{p} = \frac{Qh\gamma_{ж}}{\eta_3}.$$

Отсюда

$$V = \frac{Qh\gamma_{ж}}{\eta_3 p \ln \frac{p_6}{p}}, \quad (1)$$

где V — требуемый объем воздуха при атмосферном давлении p для подъема воды.

Необходимый объем сжатого воздуха для работы эрлифта можно определить иначе:

$$V = \frac{(Q + \omega F) \left(\frac{\gamma_{ж}}{\gamma_{см}} - 1 \right) \frac{p_6 - p}{p}}{2,3 \lg \frac{p_6}{p}},$$

где Q — подача эрлифтного насоса, м³/с; F — площадь сечения водоподъемных труб, м²; ω — скорость скольжения газа в жидкости, $\omega = 0,25$ м/с; $\gamma_{ж}$, $\gamma_{см}$ — плотность жидкости и смеси жидкости и сжатого воздуха, Н/м³.

Максимальную подачу эрлифтного насоса можно определить по формуле [19]

$$Q = \frac{38,31HF_0^2d_0}{lF\sqrt{d}} \left[1 - \frac{dF^2l}{13,3F_0^2d_0H} \omega \sqrt{\frac{1}{d} - 8,84 \frac{(H-h)}{H}} - 1 \right],$$

где F , F_0 — площади сечения соответственно водоподъемных и бурильных труб эрлифта с учетом сужений в соединениях, м²; d , d_0 — диаметры соответственно водоподъемных и бурильных труб эрлифта, м; l — длина всасывающей линии эрлифта, приведенная к площади сечения бурильных труб, м; H — длина эрлифта от излива до смесителя, м; h — глубина динамического уровня жидкости в скважине, м; ω — скорость проскальзывания воздуха в жидкости, м/с:

$$\omega = 1,6 \left(1 - \frac{H}{200} \right) + 0,00054l.$$

Для случая, когда колонковая труба заполнена керном, значения ω следует брать на 0,2—0,3 м/с больше расчетных.

Если разделить обе части уравнений, определяющих V , на Q , то получим удельный расход воздуха при атмосферном давлении, необходимый на 1 м^3 поднятой жидкости при данном к. п. д.: $v_0 = V/Q$, где v_0 — удельный расход воздуха (м^3) на 1 м^3 жидкости.

Если известны удельный расход воздуха на 1 м^3 воды v_0 и подача эрлифта в минуту Q , то необходимый объем воздуха для подъема Q (м^3) воды в 1 мин можно определить: $V = v_0 Q$ ($\text{м}^3/\text{мин}$).

Расход водовоздушной смеси непосредственно выше смесителя составит

$$q_1 = Q + \frac{V}{(p_6 - 1) 60},$$

где q_1 — расход водовоздушной смеси выше смесителя, $\text{м}^3/\text{с}$; Q — расчетный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; p_6 — рабочее давление воздуха, Па; V — необходимый объем воздуха в 1 мин.

Расход смеси при изливе

$$q_2 = Q + \frac{V}{60}.$$

Задаваясь скоростью подъема смеси u , можно определить необходимую площадь сечения водоподъемной трубы:

а) у смесителя $S_1 = q_1/u_1$;

б) в месте излива $S_2 = q_2/u_2$.

Производительность компрессора ($\text{м}^3/\text{мин}$)

$$V_K = (1,1 \div 1,2) V.$$

Расчетная мощность на валу компрессора (кВт)

$$N_K = N_0 V_K p_K,$$

где N_0 — удельная мощность на валу компрессора, кВт; V_K — подача компрессора, $\text{м}^3/\text{мин}$; p_K — рабочее давление воздуха, создаваемое компрессором.

Фактическая мощность на валу компрессора (в кВт) $N_c = 1,25 N_K$. Полный к. п. д. эрлифтной установки

$$\eta_3 = 1000 \frac{Qh}{N_c 751,3}.$$

К. п. д. эрлифта обычно невысок и составляет в среднем около 0,5.

Технология бурения твердосплавными, алмазными коронками и шарошечными долотами

Бурение с всасывающей обратной промывкой можно осуществлять дробовыми, твердосплавными и алмазными коронками, а также шарошечными долотами.

При бурении скважин с эрлифтной промывкой, так же как и при бурении с прямой промывкой, основными факторами, влияю-

щими на скорость проходки, являются: осевая нагрузка на буровой наконечник, частота вращения бурового снаряда, количество и качество промывочной жидкости, отсасываемой с забоя.

Осевую нагрузку на забой и частоту вращения бурового снаряда задают в тех же пределах, что и при обычной промывке. Количество жидкости устанавливают косвенно по давлению и расходу сжатого воздуха. Однако данный метод регулирования подачи эрлифтного насоса не претендует на высокую точность.

При алмазном бурении скважин с эрлифтной промывкой в интенсивно трещиноватых, раздробленных породах режимные параметры бурения (осевая нагрузка, частота вращения снаряда) следует применять такими же, как и при прямой промывке, учитывая некоторые технологические особенности.

Частоту вращения шпинделя подбирают такой, чтобы она обеспечивала снижение вибрации бурового снаряда и уменьшение самозаклинивания керна. Его устанавливают исходя из конкретных геологических условий (для трещиноватых, раздробленных пород оно составляет 128—277 об/мин).

Чтобы избежать резкого увеличения расхода алмазов, осевую нагрузку на коронку диаметром 76 мм рекомендуют 6—12 кН.

В начале бурения (первые 5—10 мин работы) алмазного наконечника на забое следует производить проработку коронки при пониженной частоте вращения снаряда 128—153 об/мин и осевой нагрузке на коронку 3—4 кН. Это необходимо для уточнения местоположения забоя, обнажения алмазов в новых коронках, выработки нового забоя замененной коронкой.

Во время проработки призабойной части скважины также очищают забой от осевшего шлама и промывают колонковый набор от грязевого сальника, образующегося при спуске снаряда и препятствующего прохождению промывочной жидкости.

В дальнейшем при сохранении условий нормальной работы эрлифтного насоса бурение следует вести, постепенно увеличивая нагрузку (ступенчато) до ее оптимальной величины. Период нарастания нагрузки должен составлять 10—20 мин. Далее в процессе бурения осевая нагрузка должна быть стабильной.

Инструмент подают без скачков. Осевую нагрузку в процессе бурения при переходе от одних разбуриваемых пород в другие изменяют плавно.

Запрещается возобновлять бурение на высоких частотах вращения и при повышенной рабочей нагрузке на коронку, так как это приводит к сколам алмазов. В этих случаях бурение следует начинать при пониженной осевой нагрузке (3—4 кН) и плавном включении фрикциона станка.

Промывку скважин при алмазном бурении в интенсивно разрушенных, склонных к обрушению породах следует производить с помощью высококачественного маловязкого и легкого глинистого раствора, обработанного химическими реагентами. В тресте Ташкентгеология раствор обрабатывают реагентом К-4. Реагент К-4 представляет собой полимерное вещество, которое выпускают в

виде 10%-ного водного раствора. В глинистый раствор добавляют 1,5 % реагента К-4; 1,5 % кальцинированной соды; 0,5—0,75 % поверхностно-активных веществ (ПАВ) — сульфол НП-1 или превоцелл W-OF100 (0,02 % от объема глинистого раствора).

Наиболее рациональными параметрами глинистого раствора для эрлифтной промывки, которая позволяет достаточно успешно проводить алмазное бурение и поддерживать устойчивость стенок скважин в различных геологических условиях, являются следующие: удельный вес 0,104—0,16 Н/см³, вязкость по СПВ-5 18—21 с, водоотдача 4,5—10 см³ за 30 мин, суточный отстой 0—2 %, стабильность 0,01 г/см³, толщина глинистой корки 0,8—1,5 мм. Контролировать качество глинистого раствора следует систематически. При необходимости надо обрабатывать его химическими реагентами для восстановления требуемого качества. В случае резкого ухудшения параметров глинистого раствора следует заменить его новым.

В процессе бурения необходимо следить за показаниями воздушного манометра, чтобы своевременно принять меры в случае нарушения циркуляции жидкости из-за возрастания гидравлического сопротивления в колонковой трубе (при самозаклинивании керна или по мере заполнения трубы керном) или в буровой колонке (при смене пород или закупоривании промывочных отверстий вязким шламом), которое сопровождается падением давления.

По мере заполнения колонковой трубы керном давление на воздушном манометре в течение рейса плавно уменьшается. Допустимое снижение давления в конце рейса — не более чем 0,1—0,2 МПа по сравнению с нормальным давлением, установившимся в начале рейса (при одинаковом расходе воздуха). Большее падение давления свидетельствует о нарушении циркуляции промывочной жидкости. Циркуляцию можно восстановить плавным расхаживанием снаряда в сочетании с вращением (допустимо только при отсутствии ксернорвателя). Если восстановить циркуляцию не удастся, необходимо поднять и осмотреть снаряд. Дальнейшее бурение следует продолжить со всеми описанными выше предостережениями.

Снаряд в процессе углубления скважины в течение рейса наращивают в обычном порядке. При этом подачу воздуха прекращают и снимают давление в нагнетательной линии с помощью вентиля и сброса его на маслолагоотделитель. Перед очередным рейсом, по мере углубления скважины ниже статического уровня, бурильную колонну наращивают только в нижней части (ниже смесителя эрлифта). Перед перекреплением зажимных патронов шпинделя необходимо подвешивать буровой снаряд с помощью лебедки, не отрывая его от забоя.

Взятие керна может быть осуществлено путем заклинивания шламом или с помощью кернарвателей. Иногда применяют заклиночный материал. Заклинивание керна шламом, который в процессе бурения находится в колонковой трубе во взвешенном состоянии, дает удовлетворительные результаты в сочетании с кратковре-

менной (несколько оборотов снаряда) затиркой. Для этого перед окончанием рейса в течение некоторого времени бурение производят с меньшим против нормального количеством жидкости. Уменьшение подачи жидкости достигается плавным увеличением осевой нагрузки на коронку и сопровождается снижением давления воздуха на манометре.

В свободном пространстве над керном жидкость обогащена частицами разбуренной породы, которые после прекращения циркуляции осаждаются и расклинивают керн в колонковой трубе. Обязательным является применение водосливного клапана, который предотвращает выдавливание керна из колонковой трубы жидкостью при подъеме снаряда.

Подъем бурового снаряда следует производить со всеми мерами предосторожности, без рывков и ударов, чтобы не допустить выпадения керна из колонковой трубы.

Заклинивания и срыв керна при бурении с эрлифтной промывкой можно производить двумя способами: с заклиночным материалом и без него. При заклинивании керна с применением заклиночного материала последний засыпают в воздушные трубы эрлифта, из которых он попадает сначала в водоподъемные трубы, а затем в колонковую трубу. После засыпки заклиночного материала в эрлифт подают сжатый воздух, при этом давление воздуха устанавливается не более 0,5 МПа. Срыв керна осуществляют как обычно. После срыва керна подачу воздуха в эрлифт прекращают.

При бурении дробью заклиночный материал можно не засыпать в скважину. В этом случае осуществляют самозаклинивание керна путем прекращения работы эрлифтного насоса на 5—10 мин. При этом буровой шлам и буровая дробь, находившиеся во взвешенном состоянии выше керна, оседают и заклинивают керн, срыв которого осуществляется в обычном порядке.

В Красноярском ГУ бурение скважин с использованием эрлифта осуществляли твердосплавными коронками по осадочным и метасоматическим породам с маломощными дайками долеритов, а также по брекчированным осадочным породам и магнетитовой руде VIII—IX категорий по буримости. До уровня грунтовых вод (80—120 м) скважины бурили всухую твердосплавными коронками диаметрами 175, 152 и 132 мм. При появлении грунтовых вод скважины крепили обсадными трубами. Затем бурили безнасосным способом с использованием коронок БТ-4, СМ-1, СМ-2, СТ-1 диаметрами 112 и 93 мм, а потом с применением эрлифта теми же коронками. На бурение с эрлифтной промывкой переходили при наличии в скважине столба воды 90—100 м. Осевая нагрузка на забой составляла 6—10 кН; частота вращения снаряда 153—277 об/мин. Особое внимание уделялось поддержанию нормальной промывки. Прежде чем начать подачу воздуха в эрлифтный снаряд, бурильную колонну поднимали над забоем на 0,5—1 м и только затем подавали воздух.

Параметры работы эрлифтного снаряда: глубина погружения

смесителя ниже статического уровня 65—75 м, расход сжатого воздуха 1—2 м³/мин. Производительность применявшегося компрессора ДК-9м в 5—7 раз превышала необходимый расход, что затрудняло контроль за работой эрлифтного снаряда.

На скв. 752 кроме твердосплавных применяли алмазные коронки МВ-3 и ИМВ-1 диаметром 76 мм по породам X—XI категорий. Для улучшения условий промывки и снижения гидравлических сопротивлений промывочные каналы коронок углубляли с наружной и внутренней сторон матрицы. Осевая нагрузка на алмазную коронку 9—13 кН, частота вращения 153 или 277 об/мин.

При алмазном бурении с эрлифтной обратной промывкой алмазные коронки должны иметь достаточно развитую систему промывочных каналов, обеспечивающих не только свободное движение промывочной жидкости, но и своевременный вынос шлама с забоя обратным потоком [10].

Бурение шарошечными долотами с применением эрлифта осуществляли в Кривбассе по породам VII—IX категорий по буримости (серпидито-биотитовые сланцы и доломиты). При этом соблюдали следующие параметры режима бурения: осевая нагрузка на долото 10—15 кН, частота вращения бурового снаряда 128, 153, 277 об/мин, давление на манометре 0,5—0,6 МПа. Бурили при полном поглощении промывочной жидкости в скважинах глубиной до 500 м. Скважины имели постоянный статический уровень подземных вод. Эрлифт погружали на 50 м ниже статического уровня. В качестве буровых наконечников применяли долота 4В-6АТ, 6-6ВК и четырехшарошечные колонковые штыревые бурильные головки типа 2К Д-10-6ВК диаметром 145 мм.

В Черкасской гидрогеологической экспедиции производили шарошечное и твердосплавное бурение скважин для питьевого водоснабжения (диаметром до 650 мм, глубиной до 72 м). Работали в две смены [20]. За это время обычно пробуривали одну скважину, ставили фильтр и переезжали на новую точку. Отстойник объемом 20—25 м³ готовили заранее экскаватором Э-153. Воду для промывки подавали из близко расположенных скважин, из реки или подвозили в цистернах. Расход воды для бурения составлял 5—7 л/с. Станок на точке устанавливали так же, как и при бурении с прямой промывкой.

Первые 6 м бурили долотом принятого диаметра с прямой промывкой глинистым раствором. Затем переходили на бурение с всасывающей обратной промывкой с использованием эрлифта. В начальной стадии бурения смеситель эрлифта размещали на 1—1,6 м выше соединения долота с бурильной трубой. До глубины 20—25 м бурили с одновременным наращиванием бурильных и воздушных труб. Далее наращивали лишь бурильные трубы, а глубину погружения воздушных труб оставляли постоянной. Буровую колонну наращивали последовательно: вначале поднимали все воздушные трубы, подсоединяли вертлюг и продолжали бурить скважину.

При разведке указанных участков водозабора глубина скважин

не превышала 51 м, поэтому смеситель находился на глубине 25 м.

При глубине скважины свыше 60 м рекомендуется применять вторую воздушную трубу с расположением смесителей на глубине 50—60 м. Чтобы избежать образования крупных кусков глины и закупорки бурильных труб, снаряд расхаживали в процессе бурения.

Режим бурения гидрогеологических скважин характеризовался следующими основными параметрами: частота вращения ротора 54 об/мин; расход воздуха 4—5 м³/мин; расход пульпы, поднимающейся из скважины, 18—25 м³/ч; расход воды для промывки 15—18 м³/ч; давление на манометре ресивера компрессора 0,25—0,3 МПа.

В Ульяновской КГРЭ при бурении гидрогеологических скважин установкой УРБ-ЗАМ с эрлифтной обратной промывкой соблюдалась следующая технология [20]. Нормальная работа эрлифта обеспечивалась при погружении смесителя на 7 м и более. Поэтому первые 8—10 м бурили трехшарошечным долотом диаметром 320 мм с прямой промывкой глинистым раствором. Бурение с обратной промывкой начали после замены глинистого раствора на воду.

До глубины 30—40 м скважины бурили с одновременным наращиванием бурильных и воздушных труб. Дальнейшее бурение продолжали при устойчивой работе отсоса без погружения смесителя с воздушными трубами. Работали в три смены при непрерывном поступлении воды. Давление сжатого воздуха на ресивере компрессора составляло 0,5—0,6 МПа. Ротор вращался с частотой 45—55 об/мин. Долото подавали со скоростью 8—15 м/ч.

При бурении по суглинкам на поверхность выносился шлам размером 2—3 см, а по глинам — до 4—8 см и массой до 100—150 г. Встречались окатанные куски размером до 8—15 см и массой до 1,2 кг. Все скважины оборудовали гравийными фильтрами, которые состояли из дырчатых труб с проволоочной обмоткой и песчано-гравийной обсыпкой.

При бурении глинистых пород скважина оставалась устойчивой даже при катастрофических снижениях уровня воды на 10—15 м. В этом случае крепление скважин не производилось. Если бурились неустойчивые породы, то они закреплялись обсадными трубами так, чтобы башмак обсадных труб находился ниже уровня воды на 3—4 м.

На нефтяных месторождениях Майли-Су и Чангар-Таш были проведены экспериментальные исследования по применению эрлифта в компоновке инструмента БМП, разработанного во ВНИИБТ [33]. Бурение осуществляли роторным способом, разрушение пород — шарошечными долотами диаметрами 112, 118, 140, 190 мм.

Для бурения с обратной циркуляцией достаточен удельный расход промывочной жидкости 15 см³/с на 1 см² площади забоя. Для скважин диаметрами 112 и 118 мм расход промывочной жидкости составлял менее 1 л/с (60 л/мин), а скорость в центральной труб-

ке шламоборника более 2 м/с, что позволяло нормально транспортировать выбуренную породу в шлагоуловитель.

Расчет производительности эрлифта с учетом гидравлических сопротивлений показывает, что в зависимости от диаметра и длины эрлифта расход жидкости равен 1—20 л/с.

При общей длине эрлифта 100 м его башмак должен быть погружен под уровень жидкости в скважине не менее 60 % (60 м) длины эрлифта. Чем глубже погружен эрлифтный насос, тем выше его подача, тем меньше расход воздуха.

Таблица 15

Инструмент	Погружение эрлифта, м	Расход воздуха, м ³ /мин	Подача эрлифтного насоса, л/с
БМП-73	98	2,0—2,68	1,25—1,35
	77	2,13—3,09	0,925—1,00
	50	2,92—3,21	0,365—0,475
БМП-89	98	2,3—2,89	2,67—2,93
	78	1,77—2,61	2,13—2,60
	50	2,35	0,62

В табл. 15 приведены результаты замеров для снарядов БМП-73 и БМП-89 при различном погружении стометрового эрлифта под уровень жидкости в скважине.

Практические наблюдения при бурении, так же как и замеры в скважине, показали, что имеется величина расхода воздуха, выше которой подача эрлифтного насоса начинает снижаться. Так, при погружении стометрового эрлифта на 98 м максимальная подача соответствовала расходу 2,3 м³/мин, а при расходе 3 м³/мин она не увеличивалась.

Расход промывочной жидкости во время бурения контролировали по расходу сжатого воздуха, который регистрировали расходомером ДП-430. Минимальный удельный расход промывочной жидкости составлял 13,8 см³/с на 1 см² забоя.

Технико-экономические показатели

Партией техники разведки Красноярского ГУ проведены испытания эрлифтных снарядов для обратной промывки. Бурение производили стальной дробью-сечкой по породам VIII—IX категорий. Аэрированная смесь поднималась по кольцевому зазору и изливалась обратно в скважину через отверстия в верхней части водоподъемной колонны. При этом создавался перепад давления 0,35—0,4 МПа, обеспечивающий всасывающую обратную промывку.

Были опробованы два варианта снарядов. В первом варианте, изготовленном по чертежам ВИТРа, водоподъемная колонна состояла из бурильных труб диаметром 63,5 мм. В качестве воздухопроводящей колонны использовали металлические трубки:

12,7 мм, вмонтированные внутри водоподъемной колонны с помощью специальных замков. После нескольких пробных рейсов были выявлены серьезные конструктивные недостатки этого варианта: частые обрывы внутренних трубок и высокие гидравлические сопротивления, создаваемые в проходных отверстиях специальных замков для подъема аэрированной смеси, снижающие перепад давления, необходимый для нормальной циркуляции.

Более удачен в конструктивном отношении второй вариант, в котором в качестве воздухопроводящей колонны, по предложению ВИТРа, была применена полиэтиленовая трубка. Этот снаряд, конструктивно разработанный партией техники разведки Красноярского ГУ, был опробован в комплексе с водоподъемными колоннами из бурильных труб диаметрами 50 и 63,5 мм. Полиэтиленовая трубка диаметром 12/16 мм, длиной 70 мм, предварительно намотанная на барабан, спускалась внутрь водоподъемной колонны и подвешивалась за верхний конец с помощью специального наконечника. Глубина погружения смесителя 55—65 м ниже уровня грунтовых вод. Расход воздуха при диаметре водоподъемной колонны 50 мм составлял 0,5—1 м³/мин, а при 63,5 мм — 0,6—2 м³/мин.

Колонковый снаряд был оснащен закрытой шламовой трубой и сливным клапаном. Заклинивание керна происходило за счет осаждения шлама путем прекращения циркуляции в конце рейса: на 3—5 мин. Испытания показали, что эрлифтный снаряд с водоподъемной колонной из труб 50 мм не обеспечивает достаточно интенсивной циркуляции, что приводит к быстрому накоплению шлама. Применение водоподъемной колонны из труб 63,5 мм позволило создать более интенсивную промывку и обеспечить нормальный процесс бурения.

Средние значения основных показателей бурения стальной дробью-сечкой с эрлифтной циркуляцией почти не отличаются от достигнутых при очистке забоя воздухом в обводненных породах (табл. 16).

Таблица 16

Показатели	Способы бурения		
	с очисткой забоя воздухом		с эрлифтной циркуляцией
	в сухих породах	в обводненных породах	
Категория пород	VIII	VIII	VIII
Проходка, м	47,1	22,1	14,4
Механическая скорость, м/ч	0,89	0,55	0,57
Проходка за рейс, м	1,31	1,84	1,80
Производительность, м/смену	3,7	3,0	3,0

Из табл. 16 видно, что при проходке обводненных пород наблюдаются более низкая механическая скорость и проходка за рейс по сравнению с полученными при бурении с очисткой забоя воздухом в сухих породах.

Способ бурения с эрлифтной обратной циркуляцией сравнивали со способами безнасосным и с прямой промывкой. Результаты испытаний приведены в табл. 17.

Таблица 17

Показатели	Способы бурения		
	с эрлифтной циркуляцией и с продувкой	безнасосное	с прямой промывкой
Категория пород	8,8	8,7	8,8
Проходка, м	257	2580	2109
Механическая скорость, м/ч	0,69	0,39	0,41
Проходка за рейс, м	1,33	0,57	0,98
Производительность, м/ст.-мес	147	104	136
Стоимость 1 м бурения, руб.	24,9	29,5	29,4

Из табл. 17 видно, что при бурении с применением эрлифта механическая скорость, проходка за рейс и производительность выше, чем при безнасосном и обычном способах бурения, а стоимость 1 м бурения ниже.

В интервале 160—380 м бурение эрлифтным способом по породам VII—IX категорий осуществляли твердосплавными коронками СМ-1 и СТ-1. Результаты бурения приведены в табл. 18, из

Таблица 18

Показатели	Способы бурения	
	безнасосный	с эрлифтной промывкой
Категория пород	8,5	8,5
Проходка, м	65,8	41,1
Механическая скорость бурения, м/ч	0,70	1,20
Проходка за рейс, м	1,03	1,79
Производительность, м/смену	2,06	3,38
Выход керна, %	93	100

которых видно, что бурение с эрлифтной промывкой гораздо эффективнее безнасосного.

Позднее эрлифтные снаряды применяли для алмазного бурения при глубине скважин до 700 м, были получены положительные результаты.

Красноярским ГУ производили бурение с эрлифтной промывкой в интервале глубин 415—708 м твердосплавными (СМ-1, СМ-2, СА-1) и алмазными коронками (МВ-3, ИМВ-1) диаметрами

59 и 76 мм. Твердосплавные коронки использовали по рудным габбро-диабазам и известнякам VIII—IX категорий при осевой нагрузке 6—8 кН и частоте вращения 128 об/мин. Алмазные коронки применяли для бурения безрудных габбро-диабазов IV категории при осевой нагрузке 9—10 кН и частоте вращения 128 об/мин.

Выход керна при бурении твердосплавными и алмазными коронками отражен в табл. 19.

Таблица 19

Категория пород по буримости	Вид бурения	Выход керна при промывке, %			
		эрлифтной		прямой	
		скв. 629	скв. 752	скв. 629	скв. 752
VIII	Твердосплавное	86,9	97,7	—	61,2
	Алмазное	87,1	96,2	—	36,6
IX	Твердосплавное	95,0	100	—	87,6
	Алмазное	93,2	100	47,8	57,3
X	Алмазное	—	100	—	66,8
XI	Алмазное	—	100	—	—

Внедрение бурения с эрлифтной промывкой экономически выгодно. Так, скорость бурения этим способом за 1 ст.-смену по участку Пихтовому составила 2,53 м, а при безнасосном способе — 1,75 м и стоимость 1 м соответственно 20 и 27,6 руб. Годовой экономический эффект составил 26 600 руб., при этом скорость бурения возросла на 45 % при снижении стоимости 1 м на 30 %.

Было доказано, что бурение с эрлифтной промывкой может с успехом применяться на участках с трудной организацией водоснабжения, при наличии интенсивного поглощения промывочной жидкости в скважинах, а также в целях повышения выхода керна. При проходке вязких пород, а также с увеличением глубин скважин эффективность бурения с применением эрлифтной промывки резко снижается, что существенно ограничивает область применения этого способа.

В Соликамской ГРП Уральского ГУ применяли бурение скважин с эрлифтным насосом НЭ-63,5П конструкции ВИТРа по породам IV—VII категорий твердосплавными коронками СМ-1 (в породах V—VII категорий) и БТ-4 (в породах IV категории) [5]. При бурении пород IV—VII категорий по буримости с применением эрлифта максимальная проходка за рейс составляла по глинисто-мергелистым породам 4 м, а по калийным солям — 7 м. Выход керна составил от 88 до 100 %.

В табл. 20 [10] приведены данные, полученные от внедрения эрлифтного способа промывки при разбуривании рудной зоны на

Типоразмеры коронок, $d=76$ мм	Количество коронки	Проходка, м	Категория пород по буримости	Механическая скорость, м/ч	Проходка за рейс, м	Проходка на коронку, м	Расход алмазов, кар/м	Выход керн, %
Прямая промывка								
01A4	5	14,3	IX—X	1,3	1,43	2,81	3,18	22,4
01M3	15	36,9	IX—X	1,28	1,60	2,46	5,98	28,7
Эрлифтная обратная промывка								
01M3	26	85,9	IX—X	0,95	0,95	3,30	4,42	64
01A3	20	35,5	IX—X	0,64	0,81	1,78	5,47	68,5
ИМВ-3	6	36,1	IX—X	1,38	1,39	6,00	3,75	63
14A3 (АКУ)	5	23,8	IX—X	0,58	0,79	4,80	3,32	82
Специальные	96	416,5	IX—XI	1,0	1,06	4,33	2,14	77

одном из участков треста Ташкентгеология алмазными коронками со следующими параметрами режима бурения: осевая нагрузка на коронку — 6—10 кН; частота вращения снаряда 153—277 об/мин; длина эрлифтного насоса 80—160 м (НЭ-63,5П); промывочная жидкость — глинистый раствор, периодически заливавшийся в скважину; угол наклона скважин 78—86°.

Бурение осуществляли в породах с повышенной абразивностью (кварцевые жилы), сильно раздробленных, резко чередующихся по твердости и рудной зоне. Интервалы бурения: при прямой промывке 180—500 м; при эрлифтной — 150—700 м.

Наряду с серийными коронками испытывали опытные (специальные) 76/54 мм с более совершенной промывочной системой. Эти коронки разработаны ВИТРОм и предназначены для бурения с обратной промывкой одинарными колонковыми наборами.

По результатам бурения сделаны следующие выводы и рекомендации. Серийные алмазные коронки, предназначенные для бурения с одинарными колонковыми наборами, малоприспособлены для бурения с обратной промывкой. Низкая работоспособность этих коронок при бурении сильно трещиноватых и неоднородных по твердости пород обусловлена слабо развитой промывочной системой, создающей большие гидравлические сопротивления. Это, как правило, приводит к нарушению стабильности и даже прекращению подачи промывочной жидкости на забой при встрече сильно раздробленных пород, образующих при бурении шлам, склонный к слипанию.

Для бурения с эрлифтной обратной промывкой следует применять алмазные коронки с хорошо развитой промывочной системой не только по торцу коронки, но и по боковой ее поверхности (с промывочными каналами глубиной не менее 2,5—3 мм), при опти-

мальном сочетании других конструктивных элементов (износостойкость, твердость, насыщенность и др.), соответствующих характеру разбуриваемых пород.

Суммарная площадь любого поперечного сечения промывочных каналов алмазных коронок диаметрами 76 и 93 мм должна соответственно составлять не менее 1,8—2 и 3—3,5 см². Указанным выше требованиям наиболее полно отвечают специальные коронки, разработанные ВИТРОм.

При отсутствии специальных алмазных коронок, рекомендуется применять коронки с утолщенной матрицей типа 14АЗ (АКУ-1) и ИМВ-3, промывочные боковые каналы которых следует углубить до 3 мм, а также коронки УНИГРИ.

В Кривбассе проводили испытания шарошечных долот марки 5ДК-132К с наружным диаметром 132 мм с применением эрлифтной промывки. Сначала показатели испытаний шарошечного снаряда сравнивали с показателями дробового и алмазного бурения в одинаковых геологических условиях с применением прямой, а затем — с применением эрлифтной обратной промывки. Режимы бурения скважин с применением шарошечного, дробового и алмазного способов бурения с прямой промывкой указаны в табл. 21.

Таблица 21

Тип бурового наконечника	Осевая нагрузка, кН	Частота вращения, об/мин	Количество промывочной жидкости, л/мин
Долото 5ДК-132	8—25	128—238	120—180
Дробовая коронка диаметром 130 мм	6—10	153—238	60—90
Алмазная коронка АК или ИМВ диаметром 76 мм	6—12	128—153	60—70

Сравнительные результаты бурения шарошечными, дробовыми и алмазными коронками при указанных режимах отражены в табл. 22.

Из табл. 22 видно, что при бурении скважин с прямой промывкой выход керна с применением шарошечного долота 5ДК-132К составил 10 %, а при бурении с обратной промывкой он составил 62 %.

Бурение долотами с применением эрлифтной промывки осуществляли в более крепких и абразивных породах IX—X, чем при бурении другими видами буровых наконечников.

По результатам бурения шарошечными долотами 5ДК-132К с применением эрлифта сделаны следующие выводы. Наибольшую износостойкость имеют долота в породах VIII—IX категорий и очень низкую в породах X—XI категорий. Следовательно, наиболее целесообразно применять колонковые долота 5ДК-132К в породах по IX категорию включительно.

Тип бурового наконечника	Категория пород по буримости	Проходка, м	Расход наконечников, шт.	Количество рейсов	Проходка, м		Механическая скорость бурения, м/ч	Выход керна, %
					за рейс	на наконечник		
Прямая промывка								
Дробовая коронка диаметром 130 мм	VIII—X	44,1	16	16	2,4	2,4	0,35	40
Алмазная коронка диаметром 76 мм	VIII—X	414,2	57	205	2,0	7,6	0,92	70
Долото 5ДК-132К	VIII—X	59,0	3	13	4,5	19,7	0,95	10
Эрлифтная обратная промывка								
То же	IX—X	103,1	14	18	5,7	7,3	0,97	62

Экспериментальные данные говорят о том, что применение эрлифтной промывки во многих случаях позволяет увеличить среднюю проходку за рейс и механическую скорость бурения скважин, особенно это касается бурения скважин всухую. При бурении долотами с эрлифтной промывкой выход керна возрос в 6 раз по сравнению с прямой промывкой. Выход керна при бурении с обратной промывкой в Качканарской ГРП составил 93—100 %; в Кривбассе 62—100 % (при шарошечном бурении).

В Ульяновской КГРЭ с эрлифтной обратной промывкой пробурено 12 гидрогеологических скважин, средняя глубина которых составила 62,3 м, а максимальная — 78 м [20]. Бурение с обратной промывкой повысило качество вскрытия водоносного пласта. За счет этого увеличился дебит скважин. Дебит скважин, пробуренных с обратной промывкой, был в 4,5 раза выше, чем при бурении их обычным способом и промывке глинистым раствором, и в 1,75 раза выше, чем при ударно-канатном бурении. По сравнению с ударно-канатным способом вращательное бурение с обратной промывкой оказалось производительнее в 3,7 раза. Сэкономлено на бурении 12 скважин 5,2 тыс. руб.

В Черкасской геологической экспедиции пробурено 1315 м скважин, в том числе опытных диаметром 520 мм — 688 м и разведочных диаметром 200 мм — 627 м.

Выполненный объем бурения полностью обеспечил детальную разведку месторождения подземных вод. Освоение и внедрение бурения с обратной промывкой прошло успешно. Первая же скважина глубиной 34,7 м, диаметром 520 мм была пробурена и оборудована гравийным фильтром за 1,5 смены. Средняя производительность, достигнутая при бурении с обратной промывкой без подготовительно-ликвидационных работ, составила 27 м/ст.-смену, что

в 4—5 раз выше производительности ударно-канатного и роторного бурения с промывкой глинистым раствором с учетом крепления скважин обсадными трубами и разглинizations.

В скважинах, пробуренных с обратной промывкой, создаются оптимальные условия водоотдачи пласта в прифилтровой зоне. Удельные дебиты этих скважин оказались в 3 раза выше, чем скважин, пройденных с промывкой глинистым раствором при последующей разглинizations.

Бурение гидрогеологических скважин большого диаметра методом всасывающей обратной промывки с применением эрлифта дает значительное увеличение дебита скважин, повышение скорости проходки, снижение затрат на бурение и оборудование скважин. При проходке неустойчивых песчаных отложений не требуется крепления стенок скважины. Это позволяет исключить трудоемкие операции по обсадке и извлечению труб. Бурение осуществляется с промывкой чистой водой, поэтому водоносные пласты практически не глинизируются.

В Уральском ГУ при разведке подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения была пробурена разведочно-эксплуатационная скважина глубиной 72 м, диаметром около 650 мм. Скважина пробурена установкой УРБ-3АМ со специальным навесным оборудованием и компрессором ВКС-1Д с применением обратной эрлифтной промывки за пять рабочих смен и оборудована фильтровой колонной диаметром 273—325 мм и древесной песчаной обсыпкой толщиной 180 мм. Эрлифтный способ промывки применяли в этой организации впервые. Аналогично скважины обычно бурят ударно-канатным способом и оборудуют фильтром за 1,5—2 мес. При этом требуются две колонны обсадных труб длиной около 100 м, массой не менее 100 т. Роторное бурение с прямой промывкой в этих условиях может быть осуществлено за 5—10 смен, но качество скважины при этом ниже, а удаление глины со стенок скважин занимает порой столько же времени, сколько и бурение, и даже больше.

При эрлифтом способе промывки наблюдался вынос кусков породы диаметром до 100 мм. Для промывки использовали чистую воду. Объем воды, как показывает опыт, должен быть равен тройному объему проходимой выработки. Для воды был вырыт котлован объемом около 80 м³.

При бурении скважин с всасывающей эрлифтной промывкой отпадает необходимость в креплении скважин обсадными трубами. Однако необходимо, чтобы уровень воды в скважине был не менее чем на 3 м выше статического уровня подземных вод. Этот избыточный напор вполне обеспечивает устойчивость стенок скважины. Отсутствие необходимости в креплении скважин трубами значительно сокращает время сооружения скважин и удешевляет их стоимость.

По данным Черкасской гидрогеологической экспедиции Министерства мелиорации УССР, при эрлифтом способе промывки дебиты скважин возрастают на 60—200 %, а срок службы — в не-

сколько раз, эксплуатация облегчается, так как отсутствует пескование, уменьшается зарастание фильтров.

При применении эрлифтного способа промывки в НПУ Киргизнефть в компоновке инструмента БМП, разработанного ВНИИБТом, были получены следующие результаты [33]. Средняя механическая скорость при бурении пласта, сложенного мелко- и среднезернистым песчаником с прослоями глины, составила 2,85 м/ч при максимальной скорости 4 м/ч (при нагрузке на долото 20—30 кН). На скв. 186, пробуренной с эрлифтной обратной промывкой, были проведены наблюдения за дебитом нефти при сравнении эксплуатационных показателей по нескольким скважинам, пробуренным с прямой промывкой. Вскрытие пласта с применением эрлифтной обратной промывки (без избыточного гидростатического давления) на данном месторождении привело к увеличению дебита нефти в 1,5—2 раза.

Эрлифтный способ обратной промывки скважин имеет следующие преимущества перед прямой промывкой:

- достигается большая скорость проходки скважин в самых неблагоприятных условиях;

- устраняется необходимость крепления ствола скважины обсадными трубами и применения глинистого раствора в качестве промывочной жидкости;

- возрастает надежность отбора проб пород за счет получения до 100 % выхода керна с ненарушенной структурой;

- сокращаются затраты труда и средств на борьбу с поглощением промывочной жидкости и на организацию снабжения скважин промывочной жидкостью;

- увеличиваются длины рейсов при бурении по трещиноватым породам благодаря устранению самозаклиниваний керна;

- имеется возможность сооружать скважины больших диаметров (от 450 до 1500 мм и более), причем принятый диаметр не изменяется по всей глубине скважины;

- создаются благоприятные условия для формирования естественного фильтра в процессе бурения скважин;

- повышается качество вскрытия водоносного горизонта за счет применения воды в качестве промывочной жидкости вместо глинистого раствора;

- увеличивается дебит воды из скважин, пробуренных с эрлифтной обратной промывкой до 4,5 раз по сравнению с прямой промывкой глинистым раствором и в 1,75 раза по сравнению с ударно-канатным бурением;

- возрастает срок службы гидрогеологических скважин, так как отсутствует пескование и уменьшается зарастание фильтров;

- увеличивается в 1,5—2 раза дебит нефти из скважин, пробуренных с всасывающей обратной промывкой.

Недостатки эрлифтного бурения следующие [10]:

- низкий к. п. д., обычно не более 0,2;

- малый напор, порядка 50—60 м (с приводом от передвижных компрессоров);

необходимость соблюдения минимально допустимого коэффициента погружения смесителя эрлифта, равного 1,5—2,5, что приводит к бесполезному увеличению объема буровых работ; необходимость использования дорогостоящих компрессоров; увеличение времени на вспомогательные операции, связанные со свинчиванием и развинчиванием элементов эрлифтного насоса.

Обобщая изложенное выше, можно сделать вывод, что бурение с эрлифтной обратной промывкой целесообразно применять на участках с трудной организацией водоснабжения, при наличии интенсивного поглощения промывочной жидкости в скважинах, а также в целях повышения выхода керна и дебита воды или нефти.

§ 5. ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА, СОЗДАВАЕМАЯ ВОДОСТРУЙНЫМИ НАСОСАМИ

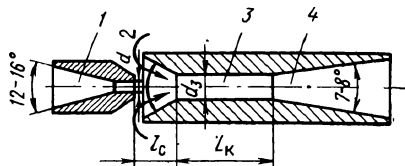
Технология бурения

Всасывающую обратную промывку можно создавать с помощью водоструйных насосов (элеваторов). Схема устройства водоструйного насоса изображена на рис. 33.

Насос состоит из рабочего сопла (насадки) 1, приемной камеры 2, камеры смешения 3 и диффузора 4.

Рис. 33. Схема устройства водоструйного насоса:

Диаметры: d — сопла; d_3 — камеры смешения; длина: L_K — камеры смешения; l_c — раструба камеры смешения



Водоструйными насосами называют аппараты, в которых происходят смешение и обмен энергий двух потоков жидкостей разных давлений с образованием смешанного потока с промежуточным давлением.

Среда, находящаяся перед аппаратом при более высоком давлении, называется рабочей средой. Рабочий поток, подаваемый от поверхностного насоса по бурильным трубам, выходит из сопла (насадки) в приемную камеру 2 струйного аппарата с большей скоростью и увлекает среду, имеющую перед аппаратом более низкое давление. Увлеченный поток называется эжектируемым (инжектируемым). Как правило, в струйных аппаратах сначала потенциальная энергия рабочего потока преобразуется в кинетическую. Кинетическая энергия рабочего потока частично передается эжектируемому потоку.

При протекании по струйному аппарату происходят выравнивание скоростей смешиваемых потоков и обратное преобразование кинетической энергии смешанного потока в потенциальную.

Рабочий и эжектируемый потоки поступают в камеру смешения 3, где скорости их выравниваются, что сопровождается, как

правило, повышением давления. Из камеры смещения поток поступает в диффузор 4, где наблюдается дальнейший рост давления. Давление смешанного потока на выходе из диффузора выше давления эжектируемого потока, поступающего в приемную камеру.

Повышение давления эжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии — основное качество струйных аппаратов. Благодаря этому качеству использование струйных аппаратов в технике бурения скважин позволяет получать более простые и надежные технические решения по сравнению с применением механических насосов.

Простота схем водоструйных насосов, исключительная простота их конструкций, а также несложность изготовления обеспечивают широкую область применения этих аппаратов в технике: на тепловых электростанциях, теплофикационных устройствах, в холодильной технике, в вентиляционных и водопроводных установках, в транспорте твердых и сыпучих материалов и жидкости, при бурении скважин и т. д.

В литературе струйные аппараты имеют различные названия: эжекторы, инжекторы, компрессоры, насосы, элеваторы и др.

В технике бурения с помощью водоструйных насосов можно создавать всасывающую обратную промывку по всему стволу скважины и нагнетательно-всасывающую — в призабойной зоне с помощью эжекторных колонковых снарядов.

На рис. 34 изображена схема работы водоструйного насоса (гидроэлеватора) для создания обратной промывки по всему стволу скважины.

Эжекторный насос 2 встроен в колонну бурильных труб в скважине 4 ниже динамического уровня (б—б) жидкости в скважине на 5—6 м. Для подвода рабочей жидкости к эжекторному насосу используют или специальные трубки, прикрепленные снаружи бурильной колонны, или кольцевой зазор при применении двойной колонны бурильных труб. Жидкость к эжекторному насосу подводится от центробежного или бурового насоса 3, установленного на поверхности. От этого насоса к водоструйному насосу идут две трубы: одна напорная 1, другая водоподъемная 5.

Вода от бурового или центробежного насоса расходом Q попадает по напорному трубопроводу 1 в сопло 6. Выходя из него с большой скоростью, струя увлекает за собой из скважины через всасывающий клапан 10 воду в количестве q и подает ее сначала в приемную камеру 7, а затем в камеру смещения 8. Оттуда весь поток $Q+q$ поступает в диффузор 9.

В диффузоре и выше него скорость движения воды уменьшается. Кинетическая энергия движущейся воды переходит в потенциальную, отчего давление увеличивается до 0,6—0,7 МПа и смесь рабочей и подсосанной жидкости в количестве $Q+q$ направляется в отстойник. Водоструйные насосы, работающие по этой схеме, могут применяться как для бурения скважин с всасывающей обратной промывкой, так и для откачки грунтовых вод из скважины. В последнем случае на поверхности устанавливают центробежный

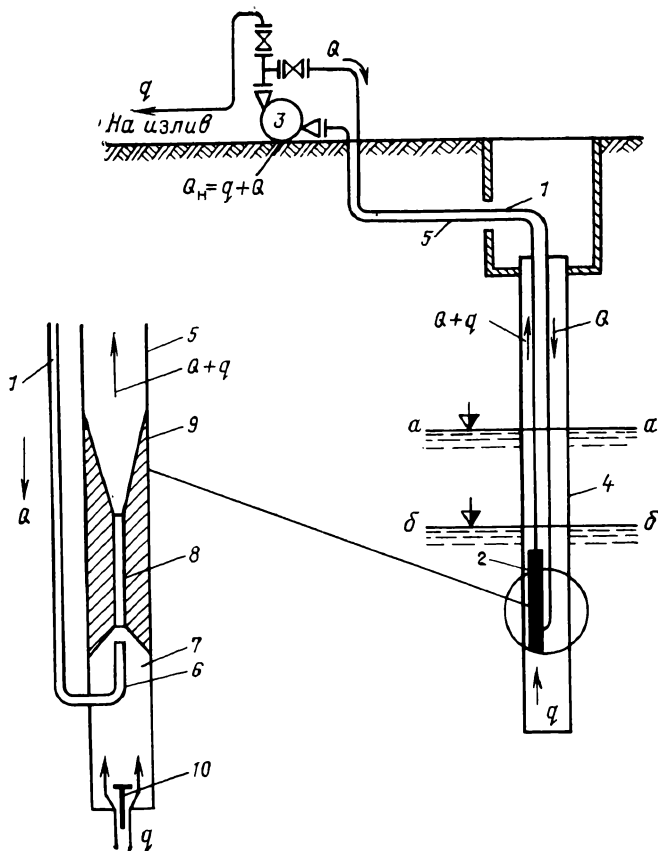


Рис. 34. Схема работы водоструйного насоса (гидроэлеватора) для создания обратной промывки по всему стволу скважины

насос 3, который повышает напор жидкости, поступающей из скважины, до расчетного значения и направляет ее в трубопроводную магистраль.

В скважине 4 жидкость самотеком поступает из отстойника. Двигаясь в затрубном пространстве, она омывает породоразрушающий наконечник и поднимается по колонне бурильных труб. Обратная циркуляция жидкости возникает за счет разности давлений столба промывочной жидкости в затрубном пространстве и в колонне бурильных труб. Перепад давлений зависит от глубины погружения водоструйного насоса. Однако глубина погружения насоса ограничена напором, создаваемым эжектором в нагнетательной линии. Обычно этот напор не превышает 0,3—0,4 МПа, что обеспечивает подъем чистой воды на высоту 30—40 м. Нормальная работа водоструйного насоса может быть в том случае, если он создает напор, превышающий давление подни-

маемой промывочной жидкости и возникающие при этом гидравлические сопротивления. Обогащение жидкости шламом уменьшает возможную высоту подъема ее с помощью водоструйного насоса.

При чрезмерном обогащении промывочной жидкости шламом движение ее вверх по колонне бурильных труб может резко замедлиться или совсем прекратиться.

При начальном диаметре 1500 мм и конечном 500 мм с использованием бурильных труб диаметром 88,9—114,3 мм для создания необходимого обратного потока жидкости в скважине требуется подавать к эжектору до 5000 л/мин воды. При меньшем диаметре бурения (500—200 мм) оказывается достаточным 2000—2400 л/мин. Для бурения скважин в нормальных условиях напор, создаваемый водоструйным насосом, должен быть равен 30—40 м вод. ст. Мощность, необходимая для этих условий, должна составлять 14,7—18,4 кВт. При понижении уровня жидкости в скважине до 20 м необходимый напор возрастает до 75—90 м вод. ст., а приводная мощность — до 36,7 кВт.

Скорость подъема обогащенной шламом промывочной жидкости в колонне бурильных труб с глубины 200 м достигает 1,5 м/с. Для улучшения условий подъема промывочной жидкости на водоподъемной магистрали можно установить вакуумный насос.

При строительстве шахты «Никулинская» производственного объединения Тулауголь для осушения шахтного поля было предусмотрено бурение водопонижающих скважин глубиной 153 м в породах II—VIII категорий по буримости (суглинки, глины, известняки). Уровень надугольного водоносного горизонта находится на глубине 89 м, а подугольного 100—110 м. При бурении скважин с прямой промывкой происходило поглощение промывочной жидкости. Чтобы сохранить естественные фильтрационные свойства пластов, было проведено опытное бурение скважин с конечным диаметром 219 мм с обратной промывкой. Для этой цели сначала применили эрлифтный способ.

Однако наличие в геологическом разрезе глины приводило к образованию сальников на долоте и в нижней части смесителя, что нарушало обратную циркуляцию, поэтому от применения эрлифтной обратной промывки отказались и начали применять обратную промывку с использованием водоструйного насоса. До глубины 113,7 м скважины бурили начальным диаметром 720 и конечным 530 мм с прямой промывкой, а глубже диаметром 219 мм с обратной.

Для подачи промывочной жидкости в скважину применяли насос 9МГр.

Техническая характеристика водоструйного насоса

Диаметр насадки, мм	14
Диаметр камеры смешения, мм	28
Расход рабочей жидкости, м ³ /ч	33—55
Напор на насадку, м вод. ст.	113—536
Подача, м ³ /ч	33—55
Напор за диффузором, м вод. ст.	43—120

Скважину бурили установкой А-50 с роторной приставкой ВИОГЕМа. Уровень циркулирующей промывочной жидкости находился на устье скважины при непрерывном пополнении запаса воды в объеме 10—11 м³/ч.

При бурении с обратной циркуляцией расход рабочей жидкости составил 40,6 м³/ч, давление на выкиде бурового насоса 3,7 МПа, частота вращения долота 80 об/мин, осевая нагрузка на долото 30—50 кН. При переходе на прямую промывку давление на выкиде бурового насоса снизилось до 1,0 МПа. Другие параметры не менялись.

Технико-экономические показатели

На основании хронометражных наблюдений, проведенных на скв. 33 при строительстве шахты «Никулинская» производственного объединения Тулауголь, получены следующие результаты бурения с всасывающей обратной промывкой, создаваемого водоструйным насосом (табл. 23) [28].

Таблица 23

Интервал бурения, м	Проходка, м	Время бурения, ч	Средняя механическая скорость бурения, м/ч	Вид промывки	Подсос, м ³ /ч	Коэффициент эжекции
113,4—120,0	6,8	1,0	6,6	Обратная	50,4	1,04
120,0—123,3	3,3	0,75	4,4	»	50,4	1,04
123,3—127,3	4,0	1,00	4,0	Прямая	—	—
127,3—145,3	18,0	4,00	4,5	Обратная	54,7	1,16
145,3—150,3	5,0	0,87	5,5	»	50,4	1,04
150,3—154,3	4,0	1,83	2,2	»	50,4	1,04

Из табл. 23 видно, что механическая скорость при бурении с обратной промывкой выше, чем при бурении с прямой. Это было подтверждено и при бурении других скважин.

При работе водоструйного насоса под определенным напором поток подсосываемой жидкости движется равномерно (без пульсаций). При эрлифтном способе бурения на этом участке наблюдалась пульсация подсосываемой жидкости, которая приводила к скоплению транспортируемых частичек породы в местах сужений трубопровода и к налипанию их на стенки труб. При применении водоструйных насосов в местах сужения трубопровода налипания частичек породы не наблюдалось. В тех случаях, когда на долоте появлялся сальник и уменьшался поток подсосываемой жидкости, переходили кратковременно (на 3—5 мин) на прямую промывку, не прекращая бурение, и таким образом восстанавливали обратный поток в полном объеме.

В трубах диаметром 203 мм, расположенных ниже водоструй-

ного насоса, скорость всасываемого потока достигала 1,7—1,95 м/с, выше насоса до излива на поверхность — 5,4—5,7 м/с. При прямой промывке пробуренных скважин насосом ШН-150 она не превышала 0,24 м/с.

После окончания бурения скв. 33 в нее была спущена фильтровая колонна диаметром 219 мм, произведены гравийная обсыпка и желонирование. Дебит скважины составил 11 м³/ч, что соответствовало в этих условиях лучшим показателям по ранее пробуренным скважинам с прямой и эрлифтной промывками.

Опыт бурения скважин большого диаметра в объединении Тулауголь показал, что применение водоструйного насоса для обратной промывки скважин, имеющих низкий статический уровень грунтовых вод, дало положительные результаты. С помощью водоструйных насосов можно не только бурить, но и откачивать воду из гидрогеологических скважин без применения дополнительного оборудования сразу же после их сооружения. Внедрение насосов позволило достичь максимальных показателей откачки при различных уровнях воды в скважинах. Благодаря внедрению водоструйных насосов был значительно сокращен парк компрессоров и улучшена организация работ за счет того, что были совмещены в единый технологический цикл бурение скважин, их опробование и ликвидация. Это дало возможность более четко организовать хозяйственную деятельность геологоразведочных организаций и резко повысить качество выполнения геологических задач.

Водоструйные насосы, применяемые для откачки воды из скважин, успешно работают при небольшой глубине их погружения под уровень грунтовых вод (5—6 м) при содержании твердых частиц в воде до 30 %. Такие насосы обычно состоят из двух узлов: водоструйного аппарата и пакера. Пакер служит для перекрытия ствола скважины по диаметру и позволяет поднимать воду из скважины без применения водоподъемных труб.

Водоструйные насосы, используемые для создания обратной промывки при бурении скважин, имеют следующие достоинства: позволяют быстро переходить с обратной промывки на прямую в случае зашламования и прихвата бурового инструмента в скважине или полного поглощения промывочной жидкости, связанного со значительным понижением статического уровня в ней;

обладает большой надежностью в работе и значительной величиной подачи;

износ насосов минимален, особенно при работе на чистой воде; простота устройства позволяет изготавливать их в любых механических мастерских;

не имеют движущихся частей, благодаря чему не чувствительны к песку и надежны в эксплуатации.

Водоструйные установки имеют существенные недостатки;

пониженный к. п. д. (около 30 %); если учесть, что между двигателем и водоструйным насосом включается в работу центробежный насос, имеющий к. п. д. 60—70 %, то общий к. п. д. составит всего 18—21 %;

ограниченная поперечными размерами скважины подача (в скважинах диаметрами 102—152 мм невозможно устанавливать гидроэлеваторы большой подачи);

возможность транспортировки обратным потоком крупного шлама ограничена габаритными размерами смесительной камеры насоса.

Глава III

КОМБИНИРОВАННАЯ ПРОМЫВКА

§ 1. НАГНЕТАТЕЛЬНО-ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА, СОЗДАВАЕМАЯ ОДИНАРНЫМИ ЭЖЕКТОРНЫМИ КОЛОНКОВЫМИ ТРУБАМИ

Конструктивные разновидности одинарных эжекторных снарядов

В нашей стране широкое применение получили одинарные (ОЭС) и двойные (ДЭС) эжекторные колонковые снаряды, создающие нагнетательно-всасывающую (комбинированную) призабойную промывку при бурении скважин. Появление этих снарядов вызвано тем, что при обратной промывке выход керна выше, чем при прямой.

Для бурения с обратной призабойной промывкой по предложению Н. С. Левченко впервые была создана двойная колонковая труба эжекторного типа. На основе этой конструкции разработано много конструктивных разновидностей двойных, а позднее и одинарных эжекторных снарядов. Эти снаряды оборудованы эжекторными насосами, работающими по схеме (рис. 35) [16].

В эжекторном насосе происходит смешение рабочего и подсосываемого (эжектируемого) потоков. При этом скорость подсосываемого потока повышается до величины скорости смешанного потока.

Первые исследования по применению одинарных эжекторных снарядов, предложенных Н. С. Левченко и С. А. Турко, показали хорошие результаты в отношении увеличения выхода керна в трещиноватых породах. Это послужило толчком для создания новых конструкций.

Наибольшее применение среди ОЭС получил снаряд конструкции ЦНИГРИ. ОЭС предназна-

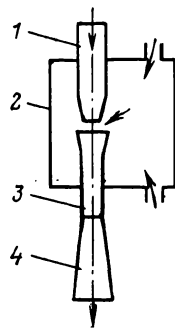


Рис. 35. Схема устройства водоструйного насоса для эжекторных буровых снарядов [16]:

1 — сопло; 2 — приемная камера; 3 — смеситель; 4 — диффузор

чены для отбора керновых проб при алмазном бурении интенсивно трещиноватых, разрушенных и переслаивающихся рудоносных пород VII—XII категорий. Снаряд может применяться с обычными серийными и специальными алмазными коронками, отличающимися увеличенной толщиной стенки матрицы, ее большой износостойкостью и развитой промывочной системой.

Эжекторный снаряд и коронки разработаны отделом экспериментальных исследований ЦНИГРИ в Туле.

Техническая характеристика ОЭС

	ОЭС-44	ОЭС-57	ОЭС-73
Эжекторный снаряд			
Диаметр, мм	44	57	73
Длина, мм:			
кernoприемной трубы	1500	1500	1500
шламовой трубы	800	800	800
общая	2180	2780	3095

Струйный насос (эжектор)

Диаметр выходного отверстия насоса, мм . .	7	7	7
Диаметр камеры смешения, мм	11	11	11
Расстояние от обреза насадки до входа в камеру смешения, мм	7	7	7
Расход рабочего потока, л/мин	70—80	80—100	100—120
Коэффициент эжекции	0,25—0,3	0,4	0,5
Рабочий перепад давления, МПа	1,0—1,5	1—2	1,5—2,0

Алмазная коронка

Марка	—	ОЭИ-59	ОЭИ-76
Тип	—	Импregnированная	
Диаметр, мм:			
наружный	—	59	76
внутренний	—	39	56
Твердость матрицы	—	35—40	
Число коронок в комплекте на один снаряд, шт.	—	10	10
Категория пород	—	IX—XII	
Средний удельный расход алмазов, кар/м . .	—	0,94—1,49	
Ресурс работы эжекторного снаряда, м . .	—	60—120	

Принципиальная схема устройства такого снаряда изображена на рис. 36. Промывочная жидкость подается к снаряду по бурильным трубам от промывочного насоса, установленного на поверхности. Проходя через переходник с соплом 1, она попадает в камеру смешения 3 и диффузор 4, откуда через канал 5 в приемной камере 2 поступает в кольцевой зазор между стенками скважины и буровым снарядом. В кольцевом зазоре поток промывочной жидкости разделяется на две части: одна часть поднимается на поверхность, вторая — поступает к забою.

При движении жидкости из сопла 1 в камеру смешения 3 в приемной камере 2 возникает разрежение, что приводит к заполнению ее жидкостью, отсасываемой с забоя через коронку 8, колонковую трубу 7, шламовую трубу 6. Поднимаясь вверх, жидкость выносит мелкие частицы породы в шламовую трубу, исключая заклинивание ими керна. Из шламовой трубы очищенная промывочная жид-

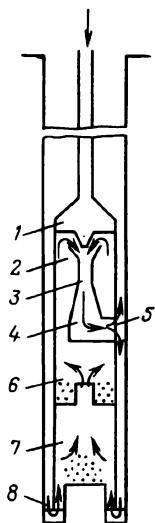


Рис. 36. Принципиальная схема устройства одинарного эжекторного снаряда [16]

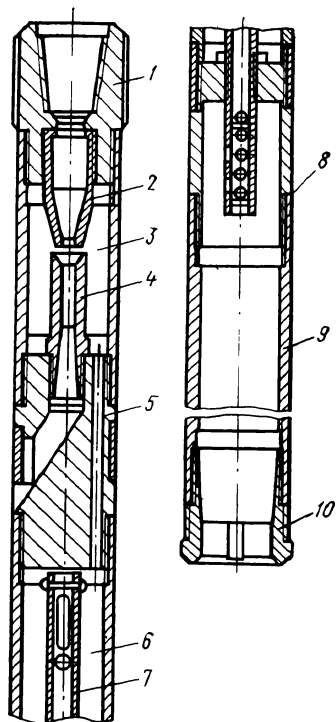


Рис. 37. Эжекторный колонковый снаряд ОЭС конструкции ЦНИГРИ [16]:

1, 8 — переходники; 2 — сопло (насадка); 3 — приемная камера; 4 — камера смешения с диффузором; 5 — распределитель; 6 — шламовая труба; 7 — внутренняя трубка с шариковым клапаном; 9 — колонковая труба; 10 — алмазная коронка

кость поступает в приемную камеру 2 эжекторного насоса. Наличие в эжекторном снаряде шламовой трубы предохраняет коронку от абразивного износа частицами выбуренной породы.

Конструктивное исполнение ОЭС конструкции ЦНИГРИ изображено на рис. 37. Этот снаряд предназначен для бурения в сильно разрушенных, перемятых породах IX—XII категорий по буримости.

Многолетняя практика бурения ОЭС показала, что основной недостаток их работы заключается в относительно низкой проходке за рейс. Это связано с увеличением сопротивлений в колон-

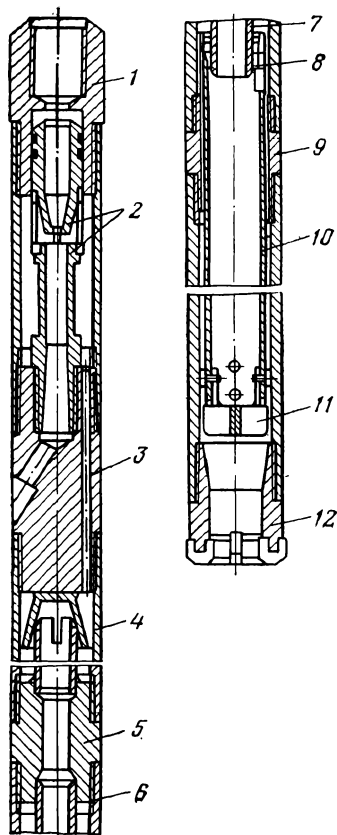


Рис. 38. Эжекторный буровой снаряд ОЭЦЛ-57 [16]:

1, 5 — переходники; 2 — струйный насос; 3 — распределитель; 4 — закрытая шламовая труба; 6 — колонковая труба; 7 — металлическая труба; 8 — уплотнитель; 9 — ниппель; 10 — полиэтиленовая труба; 11 — подпятник; 12 — коронка

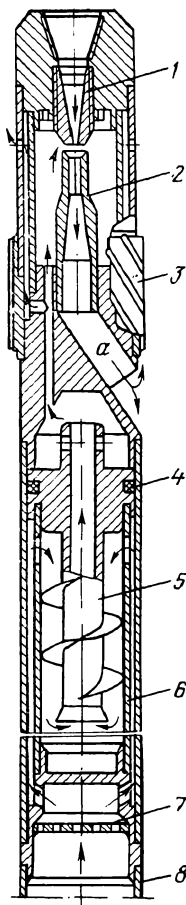


Рис. 39. Эжекторный буровой снаряд с винтовым пакером и гидроциклонным шламособирателем [16]:

1 — сопло; 2 — камера смешения с диффузором; 3 — винтовой пакер; 4 — сальник; 5 — шнековый шламособиратель; 6 — шламовая труба; 7 — решетка; 8 — колонковая труба; а — отверстие

ковой трубе при ее наполнении керновым материалом, что отрицательно сказывается на работе струйного насоса.

ЦНИГРИ совместно с Ленгидроэнергопроектом разработан одинарный эжекторный снаряд ОЭЦЛ. В нем использована конструкция шламособирающего устройства, предложенная Е. Ф. Левиным [16].

На рис. 38 дана конструкция одинарного эжекторного снаряда ОЭЦЛ-57. Внутри колонковой трубы снаряда смонтированы две

телескопические соединенные трубки 7 и 10, из которых металлическая трубка 7 закреплена в переходнике 5, а другая полиэтиленовая 10 может перемещаться относительно трубки 7 и имеет в нижней части крестообразный подпятник 11, а в верхней — уплотнитель 8.

В процессе бурения подвижная трубка, опираясь подпятником на керн, поднимается. Шлам и мелкие частицы керна выносятся из колонковой трубы по трубкам 10 и 7 в закрытую шламовую трубу 4. Оптимальный диаметр отводящих трубок определяется расчетным путем и уточняется экспериментально в зависимости от условий бурения.

Основной недостаток этого снаряда — его большая длина. Кроме того, керн испытывает давление со стороны подвижной трубки.

На рис. 39 изображен эжекторный колонковый снаряд [16] с винтовым пакером 3, создающим дополнительное сопротивление потоку, выходящему из отверстия *a*, и отбрасывающим его к забою. За счет применения этого пакера облегчается создание обратной призабойной промывки. Применение гидроциклонного шнекового шламоуловителя 5 способствует резкому повышению количества собираемого шлама в закрытой шламовой трубе 6.

Такой эжекторный снаряд одинарного типа может применяться при алмазном и твердосплавном бурении с промывкой и продувкой. Минимальный диаметр его 57 мм. При алмазном бурении роль пакера может выполнять расширитель.

Этот снаряд имеет следующие достоинства: простота конструкции; легкость извлечения собранного шлама в шламовой трубе закрытого типа; стабильность эжектируемого потока; достаточная длина рейса.

С целью лучшего улавливания шлама при бурении одинарными эжекторными колонковыми снарядами в Иркутском политехническом институте предложена конструкция одинарного эжекторного снаряда со шламоуловителем гидроциклонного принципа действия (рис. 40) [16].

Шламоуловители гидроциклонного типа весьма эффективны, так как в них шлам оседает под действием двух сил: гравитационной и центробежной, возникающей за счет вращения труб или подачи промывочной жидкости с шламом через сопло 1 по касательной к внутренней поверхности шламоуловителя. В этом случае происходит завихрение потока промывочной жидкости. При этом частицы шлама отжимаются к стенкам шламовой трубы и под действием силы тяжести оседают вниз.

При бурении этим эжекторным снарядом обратная циркуляция жидкости в призабойной части скважины осуществляется с помощью эжекторного насоса.

Крупный шлам улавливается в закрытой шламовой трубе 15, 16, 17, а мелкий — с потоком глинистого раствора проходит через каналы 6 и поступает из приемной камеры в смеситель и диффузор 2.

По каналу 4 поток промывочной жидкости с мелким буровым

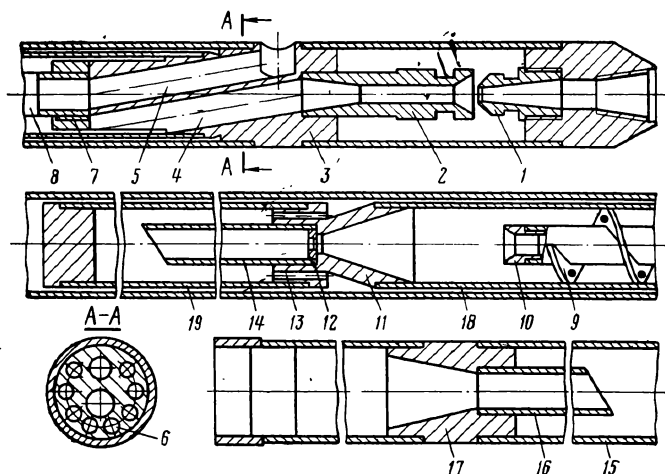


Рис. 40. Эжекторный буровой снаряд с гидроциклонным шламоуловителем конструкции Иркутского политехнического института [16]:

1 — сопло; 2 — диффузор; 3, 11, 17 — переходники; 4 — канал для подвода жидкости в гидроциклон; 5 — каналы для отвода жидкости из гидроциклона в скважину; 6 — каналы для поступления жидкости с забоя в эжекторный насос; 7 — приварное кольцо; 8 — трубка змеевика; 9 — винтовые лопасти; 10 — сливная насадка; 12 — насадка к шламовой трубе; 13 — каналы для выхода осветленной жидкости; 14 — центральная верхняя трубка; 15 — закрытая шламовая труба; 16 — центральная нижняя трубка; 18, 19 — внутренние трубы

шламом движется между змеевиком 9 и трубой 18. При движении потока по винтовым лопастям змеевика, имеющим угол подъема 15—20°, жидкость получает вращательное движение с большой окружной скоростью (10—15 м/с). Это приводит к интенсивному разрушению структуры и уменьшению вязкости глинистого раствора, что способствует лучшему отделению твердых частиц и отбрасыванию их к стенкам трубы 18 под действием центробежных сил. Образовавшийся на ней шламовый слой постепенно опускается вниз и через трубку 14 проходит в третью внутреннюю шламовую трубу 19.

Очищенный от мелкого шлама раствор через трубку 8 выходит в скважину и попадает в общий поток. Степень очищения раствора от шлама регулируется сменными насадками 10, 12.

Лабораторные испытания этого снаряда показали надежность его в работе.

Гидроциклонные шламоуловители позволяют улавливать шламовые частицы размером менее 0,25 мм. К недостаткам этого эжекторного снаряда следует отнести сложность извлечения бурового шлама из шламоуловителей. Для этого требуется разбирать шламоулавливающие устройства.

В Иркутском политехническом институте разработана конструкция эжекторного колонкового снаряда с несколькими струйными насосами [16]. При увеличении числа одновременно работающих насосов, даже если расход промывочной жидкости постоянен, ко-

личество жидкости, извлекаемой из рабочей камеры, растет. Коэффициент эжекции и интенсивность обратной призабойной промывки повышаются. Если же по мере нарастания гидравлического сопротивления в колонковой трубе за счет увеличения длины и раздробленности керна будет повышаться расход рабочей жидкости, то можно поддерживать сравнительно постоянный и достаточно высокий коэффициент эжекции в течение всего рейса. Это позволит увеличить длину углубления за рейс, а следовательно, производительность бурения в трещиноватых, раздробленных породах и рудах.

В рабочей камере создается разрежение, в результате чего камера заполняется подсосываемой жидкостью. При перепаде давления жидкости в сопле до 0,8 МПа и расходе ее 100 л/мин понижение давления в диффузоре может достигать 0,2 МПа и более.

На рис. 41 изображен одинарный эжекторный снаряд с тремя струйными насосами. Конструкция снаряда позволяет осуществлять бурение как с прямой, так и с нагнетательно-всасывающей обратной промывкой.

Направляющая головка 2 этого снаряда накручена на верхний конец трубки 4 и удерживается в верхнем положении пружиной 14. Плита 5, к которой крепятся на резьбе сопла струйных насосов 6, вставлена во внутренний канал патрубка 8 и плотно зажата патрубком 3. Для герметизации рабочей камеры снаряда между плитой и торцом патрубка проложена специальная прокладка. Плита 5 фиксируется специальными фиксаторами в патрубке 8, что не позволяет ей проворачиваться внутри патрубка.

Смесители 7 ввернуты в торец переходника 10. Диффузоры представляют собой конические каналы 9, просверленные в переходнике. Они закрыты снизу клапанами 11, которые предупреждают засасывание жидкости из скважины в случае засорения одного из сопел струйных насосов. Каналы 12 в переходнике 10 перекрыты коническим клапаном 13 для предупреждения утечки промывочной жидкости в скважину при прямой промывке.

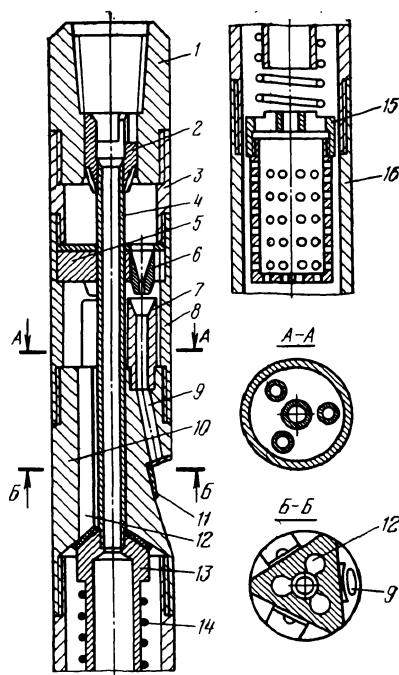


Рис. 41. Эжекторный снаряд с тремя струйными насосами конструкции Иркутского политехнического института [16]:

1, 10 — переходники; 2 — направляющая головка; 3, 8 — патрубки; 4 — трубка; 5 — плита; 6 — сопла; 7 — смесители; 9 — диффузоры (конические каналы); 11, 13 — клапаны; 12 — каналы; 14 — пружина; 15 — пята; 16 — колонковая труба

Перед спуском снаряда в скважину необходимо правильно отрегулировать расстояние между нижней кромкой клапана 13 и пятой 15. Оно должно быть таким, чтобы при опускании трубки 4 до упора клапана в пяту полностью открылись окна на головке 2. При этом направляющие рожки не должны выходить из канала переходника 1.

Струйные насосы регулируются так же, как и на обычных эжекторных снарядах. После спуска снаряда в скважину на 1—1,5 м от забоя через трубку 4 в колонковую трубу 16 подается промывочная жидкость и ведется прямая промывка до полного удаления с забоя осевшего шлама.

После промывки забоя в бурильные трубы забрасывают шарик, который перекрывает клапан головки 2, и доступ промывочной жидкости в колонковую трубу прекращается. Под давлением жидкости, создаваемым насосом, головка 2, трубка 4 и клапан 13 опускаются до упора в пяту 15. Окна направляющей головки 2 открываются, и промывочная жидкость поступает в рабочую камеру снаряда и к струйным насосам. Возникает обратная промывка.

Исследования в лабораторных, а затем в производственных условиях показали эффективность предлагаемой конструкции.

Испытывали снаряды диаметром 73 мм с тремя струйными насосами, имеющими следующие диаметры: сопла 6,5 мм, смесителя 10 мм. Отношение $f_2/f_1=2,38$, где f_1 , f_2 — площади поперечных сечений сопла и смесителя.

Испытания снарядов с тремя струйными насосами в сравнении с одноструйными позволили установить, что при увеличении числа струйных насосов, даже при постоянном расходе рабочей жидкости значительно возрастают коэффициент эжекции и интенсивность призабойной обратной промывки. Так, при расходе жидкости 75 л/мин коэффициент эжекции в одноструйном насосе $K_э=0,4$, количество эжектируемой жидкости $Q_э=30$ л/мин, давление приводного насоса $p=1$ МПа, а при трех струйных насосах $K_э=1$; $Q_э=75$ л/мин; $p=0,3$ МПа, т. е. коэффициент эжекции и интенсивность призабойной обратной промывки возросли в 2,5 раза, а давление приводного насоса снизилось в 3,3 раза.

При применении одноструйного насоса с увеличением расхода промывочной жидкости от 30 до 75 л/мин сначала наблюдается незначительный рост количества эжектируемой жидкости, а затем интенсивное его снижение. При одновременной работе трех струйных насосов повышение расхода промывочной жидкости вызывает соответствующий рост количества эжектируемой жидкости.

Трехструйные эжекторные насосы можно устанавливать как в одинарных, так и в двойных колонковых снарядах.

В процессе бурения эжекторными снарядами иногда возникает необходимость перехода с прямой промывки на обратную. Значительный эффект от замены прямой промывки призабойной зоны на обратную получается при гидроударном бурении.

СКБ ВПО «Союзгеотехника» разработало одинарный эжекторный снаряд ОК-80 для гидроударника Г-7. Этот снаряд устанавли-

ливается между гидроударником и колонковой трубой и отличается повышенной прочностью всех элементов, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок.

Аналогичный эжекторный снаряд был создан Опытно-методической партией новой техники в Киргизской ССР [16]. В Северо-Киргизской геологической экспедиции в эжекторном снаряде для гидроударного бурения был установлен фильтр, препятствующий проникновению крупных частиц шлама и кусочков керна в каналы переходника-распределителя.

В ПГО Севукргеология была разработана конструкция универсального колонкового набора (УКН). Этот снаряд предназначен для бурения скважин в сложных геологических условиях. Он состоит из колонковой трубы, эжекторного насоса и высокочастотного гидроударника (рис. 42).

Снаряд можно применять с прямой промывкой для очистки забоя скважины от породного шлама, а для дальнейшего бурения — с обратной.

В состав УКН включены шламовая труба гидроциклонного типа, узел комбинированной промывки и механизм сбрасывания шарикового клапана. При дохождении до забоя шариковый клапан 4 находится в верхнем положении. Под действием потока промывочной жидкости поршень 6 спускается вниз и сопло 9 перекрывает вход в диффузор струйного насоса. При этом боковые каналы в корпусе закрываются поршнем. В этом случае осуществляется прямая промывка. Направление потока жидкости на рис. 42, а показано сплошными линиями со стрелками. Для перехода на обратную промывку необходимо произвести левое вращение снаряда на забое. При этом шпindelъ 3, имеющий крупную ленточную резьбу, вывинчивается из переходника, а клапан 4 падает в седло 5, перекрывая в нем отверстие. Благодаря наличию зазора между торцами дополнительного корпуса 7 узла комбинированной промывки и поршнем 6, последний вместе с соплом 9 под действием потока жидкости поднимается и удерживается в верхнем положении за счет перепада давлений. Поток направляется через сопло в диффузор струйного насоса и осуществляет обратную промывку забоя. Направление потока показано штриховыми линиями на рис. 42, б.

Наличие гидроударника ГВ-5 в составе УКН позволяет интенсифицировать процесс бурения и стабилизировать величину обратного потока за счет высокочастотной пульсации промывочной жидкости. Повышение эффективности бурения достигается также за счет предварительной очистки забоя от шлама.

В СКБ ВПО «Союзгеотехника» разработан гидроударный реверсивно-эжекторный снаряд ГРЭС-59, который целесообразно применять при бурении сильноотрециноватых и раздробленных пород VIII—XI категорий по буримости алмазными коронками диаметром 59 мм [14]. Снаряд комплектуется с высокочастотными гидроударниками ГВ-6 с использованием для бурения серийных алмазных коронок. Снаряд отличается максимальной простотой конст-

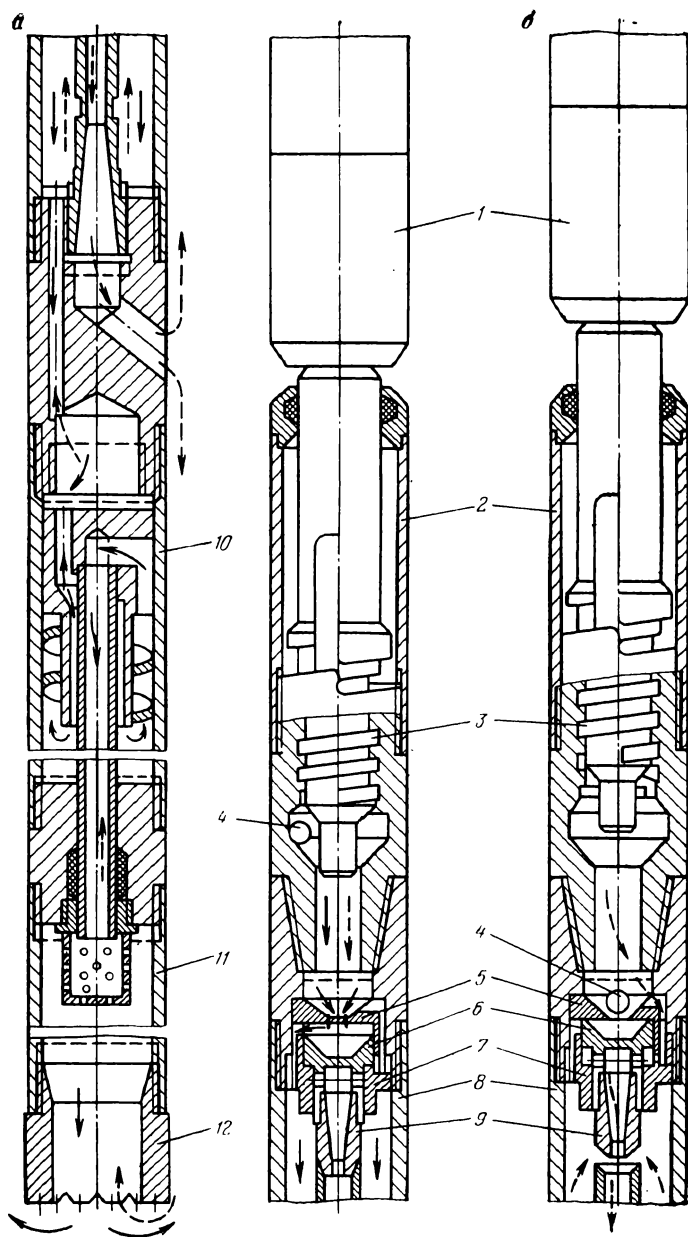


Рис. 42. Универсальный колонковый набор (УКН) конструкции треста Киев-геология [16]:

1 — высокочастотный гидроударник; 2 — корпус механизма сбрасывания шарикового клапана; 3 — шпилька; 4 — шариковый клапан; 5 — седло клапана; 6 — поршень; 7 — дополнительный корпус узла комбинированной промывки; 8 — приемная камера; 9 — сопло; 10 — шламовая труба гидроциклонного типа; 11 — колонковая труба; 12 — коронка

рукции, надежностью и удобством в работе. С его помощью можно в любое время менять режим промывки с прямой на обратную и наоборот.

Снаряд ГРЭС-59 (рис. 43) состоит из корпуса 7, верхнего переходника 1, центральной втулки 4, жестко соединенной с нижним переходником 8. В верхнем переходнике установлено сопло 2, а в

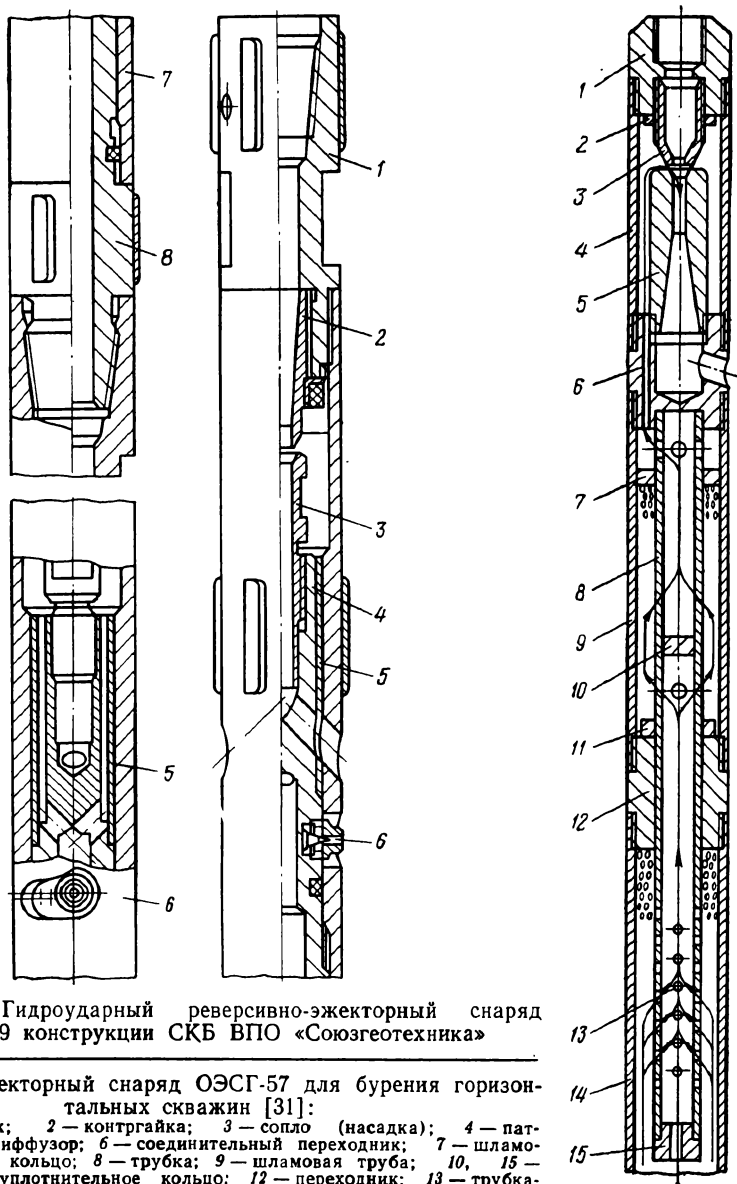


Рис. 43. Гидроударный реверсивно-эжекторный снаряд ГРЭС-59 конструкции СКБ ВПО «Союзгеотехника»

Рис. 44. Эжекторный снаряд ОЭСГ-57 для бурения горизонтальных скважин [31]:
 1 — переходник; 2 — контргайка; 3 — сопло (насадка); 4 — патрубок; 5 — диффузор; 6 — соединительный переходник; 7 — шламоотделительное кольцо; 8 — трубка; 9 — шламовая труба; 10, 15 — пробки; 11 — уплотнительное кольцо; 12 — переходник; 13 — трубка-фильтр; 14 — керноприемная труба

центральной втулке — диффузор 3. Для разделения полостей повышенного и низкого давления, а также для изменения режима промывки служит втулка 5. Угловой поворот ограничивается пальцем-фиксатором 6, закрепленным в центральной втулке и перемещающимся в прорези 9.

Перед спуском в скважину поворачивают нижний переходник влево на 90° до упора фиксатора в край прорези. При этом выходные отверстия корпуса перекрыты втулкой 5 и при подаче воды или глинистого раствора производится прямая промывка. В начале бурения под действием крутящего момента нижний переходник завинчивается в корпус до упора. Входные отверстия корпуса и центральной втулки совмещаются, и эжекторное устройство обеспечивает призабойную обратную циркуляцию потока.

Возврат к режиму прямой промывки осуществляется поворотом снаряда влево на 0,5—1 оборота без отрыва от забоя.

Техническая характеристика ГРЭС-59

Наружный диаметр корпуса, мм	55
Длина, мм	490
Масса, кг	9
Расход промывочной жидкости, л/мин	80—100
Расход эжектируемой жидкости, л/мин	40—60
Диаметр сопла, мм	8
Ресурс работы, ч	150

Для повышения выхода керна при бурении по разным зонам на месторождениях Комсомольского рудного района специалистами Комсомольской экспедиции в содружестве с ЦНИГРИ в 1965 г. были внедрены одинарные эжекторные снаряды ОЭСГ-57 (рис. 44) и ОЭСГ-46 для бурения горизонтальных скважин [31].

Эти снаряды обладают следующими отличительными особенностями:

для создания в скважине давления, превышающего атмосферное, в верхней части снаряда установлено кольцо, диаметр которого на 0,3—0,1 мм меньше диаметра коронки;

трубка-фильтр 13 выведена в колонковую трубу на 500 мм, поэтому крупный шлам и обломки керна, скапливающиеся у переходника 12, не перекрывают промывочные отверстия, расположенные ближе к пробке 15;

шламовая труба разделена на две секции шламоотделительным кольцом 7. При циркуляции жидкости при обратной промывке вокруг пробки 10 шлам оседает на внутреннюю поверхность шламовой трубы 9, где удерживается центробежными силами. Очищенный поток отсасывается через отверстия в трубке 8, а шлам под действием собственного веса скапливается у шламоотделительного кольца 7;

для обеспечения возможности бурения скважин с использованием насосов разной подачи у снарядов ОЭСГ-44 и ОЭСГ-57 предусмотрены сменные насадки 3 с отверстиями диаметром 4 мм (диаметр камеры смешения диффузора 5 составляет 6,5 мм).

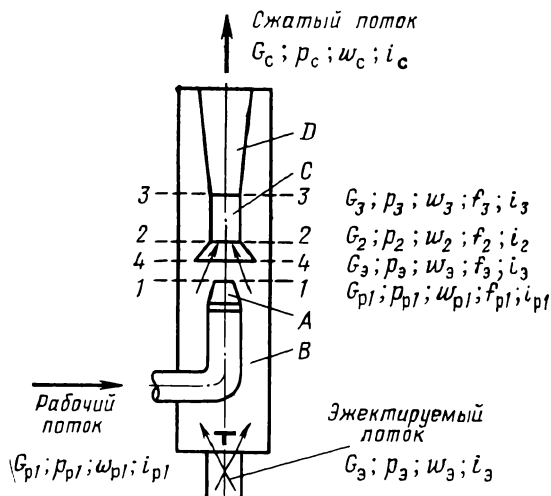
Расчет конструктивных параметров водоструйных насосов

Водоструйные насосы, встроенные в эжекторные снаряды, работают по тому же принципу, что и встроенные в колонну бурильных труб. Эффективность работы эжекторных насосов зависит от его конструктивных параметров.

На рис. 45 показана расчетная схема водоструйного насоса, встроенного в колонну бурильных труб.

Рис. 45. Расчетная схема водоструйного насоса, встроенного в колонну бурильных труб:

A — рабочее сопло; *B* — приемная камера; *C* — камера смешения; *D* — диффузор; 1—1 — выходное сечение рабочего сопла; 2—2 и 3—3 — соответственно входное и выходное сечения смешения; 4—4 — начальное сечение раструба камеры смешения



На этом рисунке введены следующие обозначения: массовые расходы жидкости: G_{p1} — рабочего потока, поступающего через сопло *A* (сечение 1—1); G_a — эжектируемого потока, поступающего из приемной камеры *B* через раструб (сечение 4—4); G_c — смешанного потока, выходящего из смесительной камеры *C* (сечение 3—3) и диффузора *D*; статические давления жидкости: p_{p1} — рабочего потока в сечении 1—1; p_a — эжектируемого потока в сечении 4—4; p_2 и p_3 — смешанного потока в сечении 2—2 начала камеры смешения и в сечении 3—3 конца камеры смешения; p_c — на выходе из диффузора; ω_{p1} ; ω_a ; ω_2 ; ω_3 и i_{p1} ; i_a ; i_2 ; i_3 — скорости и энергии потоков в соответствующих сечениях.

Процессы, характерные для водоструйных насосов, описываются тремя законами сохранения: энергии, масс и импульсов движущихся жидкостей [24].

По закону сохранения энергии: $i_{p1} + K_a i_a = (1 + K_a) i_c$; где i_{p1} ; i_a ; i_c — энергии рабочего, эжектируемого и смешанного потоков; K_a — коэффициент эжекции, т. е. коэффициент отношения массового расхода эжектируемого потока G_a к массовому расходу рабочего потока G_{p1} .

По закону сохранения масс: $G_c = G_p + G_a$, где G_c — массовый расход смешанного потока.

По закону сохранения импульсов для камеры смешения произвольной формы

$$\begin{aligned} G_{p1}w_{p1} + G_3w_3 - (G_{p1} + G_3)w_3 = \\ = p_3f_3 + \int_{f_3}^{f_1} p df - (p_{p1}f_{p1} + p_3f_3), \end{aligned}$$

где f_{p1} ; f_3 ; f_3 — площади рабочего, эжектируемого и смешанного потоков в соответствующих сечениях; $\int_{f_3}^{f_1} p df$ — интеграл импульса сил на боковую поверхность камеры смешения между сечениями 1—1, 2—2, 3—3.

Определяющим параметром для водоструйных насосов, как отмечалось выше, является отношение площадей сечения камеры смешения $f_{см}$ и сопла (насадки) f_c . Этот параметр называют коэффициентом отношения площадей m :

$$m = f_{см}/f_c. \quad (1)$$

Этот же коэффициент можно определить по другой формуле

$$m = \varphi_1^2 \varphi_2 \Delta p_p / \Delta p_{см}, \quad (2)$$

где φ_1 ; φ_2 — коэффициенты скоростей рабочего и смешанного потоков (через входной участок камеры смешения); $\varphi_1 = 0,95$, $\varphi_2 = 0,975$; Δp_p ; $\Delta p_{см}$ — перепады давлений рабочего (в сопле) и смешанного (в смесителе) потоков промывочной жидкости.

Площадь выходного сечения сопла f_c находят по формуле [24]

$$f_c = \frac{G_{p1}}{\varphi_1} \sqrt{\frac{\gamma_p}{2\Delta p_p}} \text{ м}, \quad (3)$$

где γ_p — удельный объем рабочей среды, м³/кг; G_{p1} — массовый расход рабочего потока через сопло, кг/с.

Массовый расход рабочего потока G_{p1} можно определить по формуле

$$G_{p1} = \frac{G_c}{1 + K_3}. \quad (4)$$

Площадь сечения камеры смешения находят из совместного решения правых частей уравнений (1) и (2):

$$\frac{f_{см}}{f_c} = \varphi_1^2 \varphi_2 \frac{\Delta p_p}{\Delta p_{см}}; \quad f_{см} = f_c \varphi_1^2 \varphi_2 \frac{\Delta p_p}{\Delta p_{см}}. \quad (5)$$

При промывке скважин водой

$$f_{см} = 0,88 f_c \frac{\Delta p_p}{\Delta p_{см}}. \quad (6)$$

Диаметр выходного сечения сопла

$$d_1 = 1,13 \sqrt{f_c}. \quad (7)$$

Сопло рекомендуется изготавливать в виде конуса с цилиндрическим выходным каналом, угол внутреннего конуса следует брать равным 50—60°.

Длина сопла

$$l_c = (6 \div 10) d_1. \quad (8)$$

Длина цилиндрической части выходного сечения сопла

$$l_{ц.с} = (0,25 \div 0,5) d_1. \quad (9)$$

Диаметр камеры смешения можно определять по двум формулам:

$$d_3 = 1,13 \sqrt{f_{см}}, \quad (10)$$

$$d_3 = d_1 \sqrt{m}. \quad (11)$$

Отношение эжектируемого потока жидкости к рабочему называют коэффициентом эжекции

$$K_э = \frac{q_э}{Q_p} = \frac{G_э}{G_{p1}}. \quad (12)$$

Диаметр приемной части камеры смешения (диаметр раструба) при $K_э \leq 0,5$

$$d_4 = 3,4 d_1 \sqrt{0,83 + 0,76 K_э}, \quad (13)$$

а при $K_э \geq 0,5$

$$d_4 = 1,55 d_1 (1 + K_э). \quad (14)$$

Диаметр приемной воронки должен быть выполнен в виде конического переходника от d_4 до d_3 .

Длина входного участка камеры смешения (длина раструба)

$$l_{c2} = \frac{d_4 - d_3}{2 \operatorname{tg} \beta}, \quad (15)$$

где β — угол между образующей входного участка камеры смешения и осью эжекторного насоса.

В частном случае при $\beta = 45^\circ$

$$l_{c2} = \frac{d_4 - d_3}{2}. \quad (16)$$

В работе [27] рекомендуется брать $l_{c2} = d_3$.

Расстояние от сопла до входного участка камеры смешения l_{c1} зависит от величины коэффициента эжекции $K_э$:

при $K_э \leq 0,5$

$$l_{c1} = \frac{d_1}{2a} (\sqrt{0,83 + 0,76 K_э} - 0,29); \quad (17)$$

при $K_3 \geq 0,5$

$$l_{c1} = \frac{(0,37 + K_3)}{4,4a} d_1, \quad (18)$$

где $a = 0,16$ — опытная константа.

Расстояние l_{c1} можно также найти по формуле [24]

$$l_{c1} = (1 + 1,5) d_3. \quad (19)$$

Расстояние от сопла до цилиндрической части камеры смешения

$$l_{cm} = l_{c1} + l_{c2}. \quad (20)$$

Длина цилиндрической части камеры смешения

$$l_k = (3,5 + 8) d_3. \quad (21)$$

Форма диффузора оказывает существенное влияние на работу струйного насоса. Диффузор считается идеальным, если он выполнен с постоянным увеличением угла конусности от 2 до 13°. Однако такой диффузор трудно изготовить, поэтому угол конусности диффузора обычно делают 6—8° [5].

Конечный диаметр диффузора

$$d_d \geq 1,7 d_3. \quad (22)$$

Длину диффузора определяют по формуле

$$l_d = (6 + 7) (d_d - d_3). \quad (23)$$

Выходное сечение диффузора

$$f_d = \frac{G_d (1 + K_3)}{\rho_d \omega_d}, \quad (24)$$

где ρ_d и ω_d — плотность (в кг/м³) и скорость (в м/с) сжатого потока на выходе из диффузора; G_d — массовый расход потока на выходе из диффузора, кг/с.

Если струйный насос, работающий на замкнутый контур, имеет диаметр сопла d_1 и развивает при этом коэффициент эжекции K_3 , то для получения на этом же насосе при работе на тот же контур другого коэффициента эжекции K'_3 необходимо установить новое сопло диаметром

$$d'_1 = d_1 \frac{1 + K_3}{1 + K'_3}. \quad (25)$$

Отношение полной геометрической высоты подъема эжектируемого потока жидкости h к напору рабочего потока H называется коэффициентом напора K_H

$$K_H = h/H. \quad (26)$$

Величина K_H при подъеме воды из скважины может изменяться в пределах 0,15—0,35 [5].

Мощность эжектора $N_э$, затрачиваемую на отсасывание промывочной жидкости, определяют по формуле

$$N_э = \eta N_p, \quad (27)$$

где η — средний к. п. д.; N_p — мощность рабочего потока (затрачиваемая мощность) у входа в сопло.

Мощность рабочего потока (затрачиваемая мощность) зависит от параметров бурового насоса, установленного на поверхности;

$$N_p = \varphi_1^2 \gamma_p Q_p H, \quad (28)$$

где φ_1 , γ_p , Q_p , H — коэффициент скорости, удельный объем, расход рабочего потока, напор жидкости в сопле.

Полезно затраченная мощность эжектора

$$N_э = \varphi_2^2 \gamma_э q_э h, \quad (29)$$

где φ_2 , $\gamma_э$, $q_э$, h — коэффициент скорости, удельный объем, расход и напор жидкости эжектируемого потока.

$$\eta = \frac{N_э}{N_p} = \frac{\varphi_2^2 \gamma_э q_э h}{\varphi_1^2 \gamma_p Q_p H} \approx K_э K_H \quad (30)$$

при условии, что $\gamma_э = \gamma_p$, $\varphi_2 = \varphi_1$.

Из формулы (30) видно, что эффективность работы водоструйного насоса зависит в основном от коэффициентов эжекции и напора.

Водоструйные насосы имеют сравнительно низкий к. п. д., не превышающий 30 % [5]. Для нормальной работы насоса необходимо иметь коэффициент эжекции таким, чтобы расход жидкости эжектируемого потока не превышал его максимально допустимого значения. Расход рабочего потока промывочной жидкости принимается по возможности максимальным. Он обычно определяется подачей насосов, применяемых при геологоразведочных работах (100—250 л/мин). Увеличивая расход и напор жидкости, подаваемой в сопло, а также снижая потери ее в сопле, можно увеличить мощность эжектора.

Максимальный к. п. д. и наилучшие результаты работы эжектора обеспечиваются при изготовлении поверхностей деталей струйного насоса (сопла, камеры смешения и диффузора) по высокому классу чистоты обработки ($\varphi_1 = 0,95 \div 0,98$). Недоброкачественное изготовление этих деталей обычно приводит к низким значениям коэффициента $\varphi_1 = (0,7—0,8)$ и резкому снижению показателей работы снарядов. Углубление за рейс уменьшается в 1,5—2 раза.

Пример. Рассчитать все основные геометрические размеры струйного насоса с диффузором для следующих условий: $\Delta p_p = 784\,800 \text{ Н/м}^2$; $\Delta p_{см} = 98\,100 \text{ Н/м}^2$; $p_{р1} = 981\,000 \text{ Н/м}^2$; $\gamma_p = \gamma_э = 0,001 \text{ м}^3/\text{кг}$; $\Delta p_{см}/\Delta p_p = 0,125$; $\Delta p_p/\Delta p_{см} = 8$; $\varphi_1 = 0,95$; $\varphi_2 = 0,975$; $p_э = 196\,200 \text{ Н/м}^2$; $Q_p = 100 \text{ л/мин} = 1,6 \text{ л/с}$; $q_э = 70 \text{ л/мин} = 1,16 \text{ л/с}$; $G_{p1} = 1,66 \text{ кг/с} = 6 \text{ т/ч}$; $G_э = 1,16 \text{ л/с} = 4,2 \text{ т/ч}$. Здесь $\Delta p_p = p_{р1} - p_э$; $\Delta p_{см} = p_{см} - p_э$.

1. Определим коэффициент отношения площадей по формуле (2): $m = \varphi_1 \varphi_2 \Delta p_p / \Delta p_{см} = 0,88 \cdot 8 = 7,04$.

2. Найдем площадь выходного сечения сопла по формуле (3):

$$f_c = \frac{G_{p1}}{\varphi_1} \sqrt{\frac{\gamma_p}{2\Delta p_p}} = \frac{1,66}{0,95} \sqrt{\frac{0,001}{2 \cdot 784 \cdot 800}} = 0,000044 \text{ м}^2 = 44 \text{ мм}^2.$$

3. Определим диаметр выходного сечения рабочего сопла по формуле (7):

$$d_1 = 1,13 \sqrt{f_c} = 1,13 \sqrt{44} = 7,5 \approx 8 \text{ мм.}$$

4. Найдем длину сопла по формуле (8): $l_c = (6 \div 10) d_1 = (6 \div 10) \cdot 8 = (48-80) \text{ мм, примем } 60 \text{ мм.}$

5. Вычислим длину цилиндрической части выходного сечения сопла по формуле (9): $l_{п.с} = (0,25 \div 0,5) d_1 = (0,25 \div 0,5) \cdot 8 = (2 \div 4) \text{ мм, примем } 3 \text{ мм.}$

6. Рассчитаем площадь сечения камеры смешения, используя формулы (1) и (3): $f_{см} = m f_c = 7,04 \cdot 44 = 309,8 \text{ мм}^2.$

7. Определим диаметр камеры смешения по формулам (10) и (11): $d_3 = 1,13 \sqrt{f_{см}} = 1,13 \cdot 1,76 \cdot 10 = 19,9 \approx 20 \text{ мм; } d_3 = d_1 \sqrt{m} = 8 \cdot 7,04 = 21 \text{ мм, примем } d_3 = 20 \text{ мм.}$

8. Найдем коэффициент эжекции по формуле (12): $K_э = q_э / Q_p = 70 / 100 = 0,7.$

9. Рассчитаем диаметр приемной части камеры смешения (диаметр раструба по формулам (13) и (14):

$$d_4 = 3,4 d_1 \sqrt{0,83 - 0,76 K_э} = 3,4 \cdot 8 \cdot 0,784 = 21,2 \text{ мм;}$$

$$d_4 = 1,55 d_1 (1 + K_э) = 1,55 \cdot 8 \cdot 1,7 = 21,1, \text{ примем } d_4 = 22 \text{ мм.}$$

10. Примем длину входного участка камеры смешения (длину раструба) $l_{c2} = d_3 = 20 \text{ мм.}$

11. Вычислим расстояние от сопла до входного участка камеры смешения по формулам (17) и (18):

$$l_{c1} = (d_1 / 2a) (\sqrt{0,083 - 0,76 K_э} - 0,29) = 8 / (2 \cdot 0,16) (\sqrt{0,083 - 0,76 \cdot 0,7} - 0,29) = 12,35 \text{ мм;}$$

$$l_{c1} = \frac{(0,37 + K_э)}{4,4a} d_1 = \frac{(0,37 + 0,7) \cdot 8}{4,4 \cdot 0,16} = 12,2 \text{ мм; примем } l_{c1} = 12,4 \text{ мм.}$$

По формуле (19) это же расстояние можно найти: $l_{c1} = (1 \div 1,5) d_3 = (20 \div 30) \text{ мм.}$

12. Определим расстояние от сопла до цилиндрической части камеры смешения по формуле (20): $l_{см} = l_{c1} + l_{c2} = 20 + 12,4 = 32,4 \text{ мм.}$

13. Вычислим длину цилиндрической части камеры смешения по формуле (21): $l_{п.с} = (3,5 \div 8) d_3 = (3,5 \div 8) \cdot 20 = (70 \div 160) \text{ мм, примем } l_{п.с} = 100 \text{ мм.}$

14. Найдем конечный диаметр диффузора по формуле (22): $d_d \geq 1,7 d_3 = 1,7 \cdot 20 = 34 \text{ мм.}$

15. Рассчитаем длину диффузора по формуле (23): $l_d = (6 \div 7) (d_d - d_3) = (6 \div 7) (34 - 20) = (74 \div 88) \text{ мм, примем } l_d = 80 \text{ мм.}$

16. Определим коэффициент напора по формуле (26): $K_n = h / H = 20 / 100 = 0,2$, где $H = 10 p_{p1} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ м; } h = 10 p_э = 10 \cdot 2 = 20 \text{ м.}$

17. Вычислим мощность рабочего потока (затраченную мощность) по формуле (28):

$$N_p = \varphi_1^2 \gamma_p Q_p H = (0,95^2 \cdot 0,001 \cdot 1660 \cdot 100) / 102 = 1,4 \text{ кВт.}$$

18. Найдем полезно затраченную мощность по формуле (29):

$$N_э = \varphi_2^2 \gamma_э q_э h = (0,975^2 \cdot 0,001 \cdot 1166 \cdot 20) / 102 = 0,22 \text{ кВт.}$$

19. Определяем к. п. д. водоструйного насоса по формуле (30): $\eta = N_э / N_p = 0,22 / 1,4 = 0,15.$

Коэффициент полезного действия, определяемый через коэффициент эжекции и напора, равен $\eta = K_э K_n = 0,7 \cdot 0,2 = 0,14.$

Схема водоструйного насоса с основными расчетными параметрами дана на рис. 46.

Одинарные эжекторные колонковые снаряды разных конструкций прошли широкие испытания как в промышленных, так и в лабораторных условиях. Ежегодно с их помощью бурится до 36 000 м скважин [21]. Бурение осуществляют в основном алмазными коронками.

В Алмалыкской и Нижнеамурской геологоразведочных экспедициях скважины с применением ОЭС бурили в интервале глубин 30—400 м по породам X—XII категории (жильный кварц, серицито-кварцевые породы, роговики и сильно окварцованные туфы андезитов) [21]. Породы отличаются интенсивной трещиноватостью, раздробленностью и абразивностью.

В качестве промывочной жидкости применяли глинистый раствор, имеющий следующие параметры: плотность 1,04—1,10 г/см³, условная вязкость по СПВ-5 18—19 с; водоотдача 4—15 см³ за 30 мин. Бурение осуществляли с применением серийных импрегнированных алмазных коронок О2ИЗ и О2И4 и коронок, специально созданных для ОЭС путем чередования их через два рейса.

Осевая нагрузка на коронки составляла 8—12 кН, частота вращения 254—340 об/мин, расход глинистого раствора 100—140 л/мин.

Результаты бурения серийными алмазными коронками (О2ИЗ и О2И4) и коронками ОЭИ отражены в табл. 24.

Всего пробурено 425,5 м, из них 289,6 м — коронками ОЭИ и 135,9 м — серийными.

Результаты испытаний показали, что при бурении коронками ОЭИ и эжекторными снарядами механическая скорость возросла на 15—24 %, углубление за рейс — на 48—51 %. Это обеспечило рост производительности на 27—30 % и снижение расхода алмазов в 1,84—4,1 раза. Выход керна получен 85—97 %.

Бурение коронками ОЭИ обеспечивает рост углубления за рейс до 2,5 м и не влияет на выход керна.

Благодаря применению эжекторных снарядов на многих месторождениях Сибири, Дальнего Востока и Средней Азии при буре-

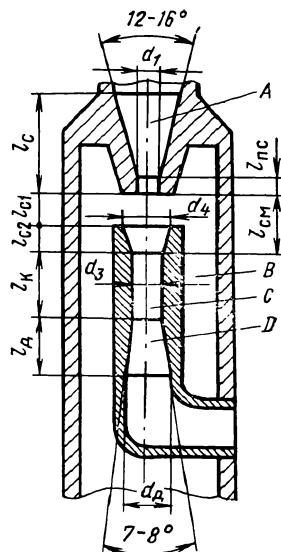


Рис. 46. Расчетная схема водоструйного насоса с основными геометрическими параметрами: А — сопло; В — приемная камера; С — смеситель; Д — диффузор; диаметры: d_1 — сопла, d_3 — камеры смесителя, d_4 — раструба смесителя, d_d — диффузора; l_{c1} — расстояние от сопла до раструбы; длина: l_{c2} — раструба, l_k — камеры смесителя, l_d — диффузора

Таблица 24

Показатели	Нижнеамурская экспедиция			Алмалыкская экспедиция		
	ОЭИ-59	ОЭИ4 и ОЭИ3	Отношение показателей, %	ОЭИ-76	ОЭИ4	Отношение показателей, %
Количество коронок	14	16	—	10	16	—
Средняя масса заправленных алмазов, кар	12,1	12,05	—	16,42	15,8	—
Проходка, м	114	70,3	—	175,6	65,8	—
Средняя категория пород	11	10,9	—	9,2	9,2	—
Выход керна, %	85	82	—	97	93	—
Проходка на коронку, м	8,1	4,4	186	17,6	4,1	428
Механическая скорость, м/ч	0,94	0,76	124	1,4	1,22	115
Углубление за рейс, м	1,3	0,86	151	1,81	1,22	148
Производительность бурения, м/ст.-смену	2,32	1,78	130	3,46	2,73	127
Удельный расход алмазов, кар/м	1,49	2,74	184	0,94	3,85	410

Таблица 25]

Экспедиция	Категория пород	Диаметр снарядов, мм	Средне- годовой объем бурения, тыс/м	Углубление за рейс, м
Комсомольская	XI—XII	44; 57; 73	2	0,5—0,95
Хинганская	X—XII	57; 73	2	0,8—0,9
Нижнеамурская	XI—XII	57; 73	2	0,7—0,86
Карамкенская и Дукацкая	VIII—X	57; 73	9	0,6—0,9
Северная	VIII—IX	57; 73	7,5	1,3—1,5
Восточно-Кураминская	VIII—XI	57; 73	5,5	0,5—0,9
Алмалыкская	VIII—XI	77	2,5	0,7—1,2
Горловская	VI—IX	73; 89	1,5	0,9—1,1

Продолжение табл. 25

Экспедиция	Категория пород	Механи- ческая скорость бурения, м/ч	Удельный расход алмазов, кар/м	Выход керна, %	
				без эжекторных снарядов	с эжек- торным и снарядами
Комсомольская	XI—XII	0,5—0,7	1,9—2,2	30—40	80—92
Хинганская	X—XII	0,6—1,0	1,9—2,1	30—50	75—85
Нижнеамурская	XI—XII	0,6—0,8	2,4—2,8	40—50	80—85
Карамкенская и Дукацкая	VIII—X	0,9—1,1	1,7—3,0	20—50	70—90
Северная	VIII—IX	1,5—1,8	0,7—0,8	30—60	90—100
Восточно-Кураминская	VIII—XI	0,6—1,1	2,2—3,6	10—50	70—90
Алмалыкская	VIII—XI	0,7—1,3	2,4—3,8	20—35	80—90
Горловская	VI—IX	0,8—1,0	0,7—1,5	60—75	86—90

нии в сложных геологических условиях обеспечен стабильный качественный выход керна (табл. 25) [21].

Показатели работы эжекторных снарядов зависят от степени сложности геологических условий, параметров снарядов, подачи бурового насоса, параметров породоразрушающего инструмента.

При бурении часто чередующихся пропластков пород различной твердости нередко возникает прекращение циркуляции в начале бурения, задавливание и затирание керна в мягких пропластках пород. В таких интервалах углубление за рейс не превышает 0,4—0,5 м, что ведет к повышенному расходу алмазов.

Испытания снарядов ОЭСГ-57 для бурения горизонтальных скважин проводили при бурении кварц-турмалиновых пород X—XI категорий по буримости в Амурской ГРП Комсомольского рудного района [31]. Бурение осуществляли станком БСК-2М-100 с промывкой водой с помощью насоса НБ-3 при следующих режимах: осевая нагрузка на забой 0,8—1,0 кН, частота вращения бурового снаряда 153—277 об/мин, расход промывочной жидкости 40—60 л/мин.

Таблица 26

Типы снарядов	Проходка, м	Длина колонкового снаряда, м	Выход керна, %	Проходка за рейс, м	Удельный расход алмазов, кар	Производительность, м/ст.-смену
ОЭС-Г-57	150	1,5	92	1,2	0,9	1,9
ДКС	21,5	2,0	94	1,5	2,1	2,1
Обычный снаряд с прямой промывкой	54,3	2,0	68	1,0	0,8	1,8

Испытания показали (табл. 26), что одинарный эжекторный снаряд для горизонтального бурения (ОЭС-Г-57) дает возможность снизить расход алмазов по сравнению с двойными колонковыми снарядами (ДКС) в 2,3 раза при одинаковом качестве работ.

Проходка за рейс и производительность бурения с ОЭС-Г-57 получились несколько ниже, чем с ДКС. Это объясняется тем, что в условиях испытаний снарядов ОЭС-Г-57 не было возможности использовать колонковую трубу такой же длины, как у ДКС, так как специальной камеры не делали и бурили из штольни. Кроме того, снарядами ОЭС-Г-57 пробурен почти в 7 раз больший объем, чем ДКС. Это тоже могло отразиться на сравнительных результатах бурения.

Производственные испытания снарядов с тремя струйными насосами [16] при бурении алмазными и твердосплавными коронками трещиноватых и перемятых пород VII—IX категорий выявили эффективность этих снарядов по сравнению с ОЭС. Устойчивая обратная призабойная промывка при постепенном повышении расхода рабочей жидкости позволила увеличить углубление за рейс в 2,2 раза. Механическая скорость бурения повысилась на 8—12 %.

Благодаря увеличению числа одновременно работающих струйных насосов удалось уменьшить давление приводного насоса, а следовательно, снизить расход электроэнергии и износ самого насоса.

С целью увеличения выхода керна при бурении пород с применением гидроударников на одном из месторождений Киргизской ССР одновременно с гидроударником применили ОЭС. Рудные зоны и часть вмещающих пород на месторождении представлены трещиноватыми, а иногда интенсивно перематыми породами IX—XI категорий.

При бурении этими снарядами использовали кернорватели К115Ц конструкции СКБ ВПО «Союзгеотехника» и серийные твердосплавные коронки для гидроударного бурения. Диаметр сопла струйного аппарата равен 12 мм. В верхней части колонковой трубы просверлено одно отверстие диаметром 6 мм для облегчения подъема снаряда после окончания рейса. Снаряд применяли как со шламоборником, так и без него.

При работе с этим снарядом предварительно тщательно очищали забой от шлама и кусочков твердого сплава.

При бурении с гидроударником и эжекторным снарядом было получено от 82 до 89 % керна, а при бурении без эжекторного снаряда — 61 %. Таким образом, выход керна повысился на 15—20 %, а проходка за рейс несколько понизилась.

Применение ОЭС на данном месторождении позволило положительно решить проблему выхода керна и повысить производительность буровых работ за счет устранения различных мероприятий, применявшихся раньше для улучшения выхода керна.

В бывших трестах Киевгеология и Артемгеология применяли универсальные колонковые наборы УКН [9]. Бурение с призабойной обратной промывкой осуществляли ОЭС совместно с высокочастотными гидроударниками ГВ-5. Расход промывочной жидкости, подаваемый в скважину поверхностными насосами, составлял 120—150 л/мин. Скорость восходящего (обратного) потока, создаваемого струйным насосом, достигала до 6 м/с. Шламовая труба улавливала до 56 % частиц шлама размером 0,05—0,12 мм и до 87 % от 0,12 до 0,2 мм.

В Горловской геологоразведочной экспедиции наряду с УКН использовали для сравнения результатов бурения двойные колонковые трубы конструкции ВИТРа—ТДН-93, а также одинарные и двойные снаряды конструкции ЦНИГРИ. Результаты бурения вышеуказанными снарядами отражены в табл. 27.

Из табл. 27 видно, что если при бурении обычным одинарным колонковым снарядом выход керна составлял от 43,7 до 53,8 %, то в этих же условиях с применением снаряда УКН-73 выход его получен соответственно 83,5 и 82,6 %. Увеличилось углубление за рейс на 20—50 %.

Повышение эффективности бурения достигнуто за счет стабилизации обратного потока при высокочастотной пульсации промывочной жидкости.

Тип снаряда	Тип коронки	Проходка, м	Категория пород	Выход керна, %	Механическая скорость, м/ч	Углубление за рейс, м
ПГО Севкргеология						
УКН-73	Твердосплавная	596,3	V—IX	83,5	2,40	2,10
Одинарный	»	740,0	V—IX	43,7	—	1,35
УКН-73	Алмазная	842,0	IX—XI	82,6	2,00	1,60
Одинарный	»	145,3	V—IX	53,8	—	1,27
УКН-73	Твердосплавная	253,1	V—VIII	91,8	5,3	2,30
УКН-73	Алмазная	208,6	VIII—IX	98,4	0,98	2,00

Трест Артемуглегеология

УКН-73	Алмазная и твердосплавная	114,1	VI—IX	89,0	1,78	1,72
ТДН-93	Алмазная	856,9	VI—IX	88,0	1,04	1,55
ОЭС-89	Алмазная и твердосплавная	238,5	V—VIII	82,0	1,15	1,14

Приемочные испытания гидроударного реверсивно-эжекторного снаряда проводились в ПГО Ташкентгеология и Центроказгеология [14]. При бурении использовали серийное оборудование: станки ЗИФ-650 А и М, насосы 11ГР, стандартные колонны бурильных труб, серийные алмазные коронки. Базой для сравнения служили данные бурения серийными двойными снарядами ТДН-59-0, в которых предусмотрены частичная обратная циркуляция промывочного потока и невращающаяся кернаприемная труба.

Результаты испытаний приведены в табл. 28. Из табл. 28 видно, что механическая скорость бурения снарядом ГРЭС-59 выше в среднем на 20—30 %, а углубление за рейс выше на 25—30 %, а

Таблица 28

Организация	Тип снаряда	Средняя категория пород	Проходка, м	Число рейсов	Средняя проходка за рейс, м	Выход керна, %	Механическая скорость, м/ч
Балхашская КГЭ	ГРЭС-59	10	1472	964	1,53	82	1,40
	ТДН-59-0	9,8	121	104	1,16	70	1,11
Восточно-Кураминская ГРЭ	ГРЭС-59	9,2	366	326	1,12	99	1,33
	ТДН-59-0	9,2	138	154	0,89	79	1,13
Алмалыкская ГРЭ	ГРЭС-59	9,0	72	71	1,01	96	0,99
	ТДН-59-0	9,0	15	18	0,82	67	0,80

чем снарядами ТДН-59-0. Заметно повышается выход керна. Снаряд позволяет осуществлять перед началом рейса прямую промывку забоя скважины, в результате чего возрастает достоверность кернового опробования.

ГРЭС-59 прост в эксплуатации и надежен в работе. Ресурс снаряда составляет 150 ч. Экономический эффект от его применения около 500 руб.

Анализ результатов внедрения снарядов ОЭС показывает следующие их достоинства:

- имеют простую конструкцию и могут быть изготовлены в любых механических мастерских;

- надежны в эксплуатации;

- дают выход керна 80—100 %, при обычном способе — не более 50 %;

- не требуют дополнительного оборудования для создания обратной промывки;

- могут применяться как при вращательном, так и при ударно-вращательном (с гидроударником) способе бурения;

- можно бурить как с применением промывочной жидкости, так и с продувкой сжатым воздухом;

- позволяют бурить как с нагнетательно-всасывающей обратной, так и с прямой промывкой;

- можно одновременно применять несколько струйных насосов, что улучшает их эксплуатационные качества;

- дают возможность почти в 2 раза увеличить улавливание (в закрытых шламовых трубах) по сравнению с прямой промывкой.

Указанные достоинства ОЭС позволили найти широкое применение этих снарядов при бурении геологоразведочных скважин, благодаря чему значительно улучшилось качество геологоразведочных работ.

Однако снаряды ОЭС имеют и существенные недостатки.

1. Ограничено углубление за рейс, особенно при бурении трещиноватых раздробленных пород и руд. Это связано с тем, что с увеличением длины керна в колонковой трубе и степени его раздробленности растет гидравлическое сопротивление и соответственно снижается коэффициент эжекции, а также подача струйного насоса, в результате керна в коронке затирается и преждевременно прекращается углубление; результаты бурения трещиноватых, раздробленных пород эжекторными снарядами показывают, что углубление за рейс может снижаться до 0,5—0,8 м.

2. В некоторых случаях снижается производительность на 15—20 % по сравнению с бурением скважин с прямой промывкой.

3. При постепенном росте подачи струйного насоса и длины керна в колонковой трубе не всегда повышается длина рейса, при малом сечении канала сопла струйного насоса ($d=6\div 7$ мм) увеличение расхода жидкости приводит к интенсивному росту давления; например, при диаметре сопла 6,5 мм, подаче приводного насоса 120 л/мин, условной вязкости глинистого раствора 25 с и глубине скважины 400 м давление, развиваемое насосом, дости-

гает 3,1—4 мПа. Эта величина является основой для расчета расхода промывочных насосов, применяемых в разведочном бурении.

4. При промывке скважины прямым потоком жидкости перед постановкой снаряда на забой колонковая труба может забиваться плотным шламом, что снижает выход и качество керна.

5. Расход алмазов выше, чем при прямой промывке.

6. Снаряды без внутренней шламовой трубы не могут быть рекомендованы для широкого использования из-за ухудшения условий формирования керна и снижения производительности бурения. Это связано с тем, что накапливающийся в призабойной части одинарного снаряда шлам способствует заклиниванию керна, его истиранию, ухудшает условия циркуляции жидкости, повышает износ забойного инструмента. Кроме того, в момент прекращения циркуляции шлам оседает на забой, что приводит к заклиниванию керна, а иногда и к прихвату снаряда в скважине. Это усугубляется еще и тем, что сброс рабочей жидкости, образующей восходящий поток таких снарядов, происходит на небольшом расстоянии от забоя (2—3 м). Все это ухудшает условия его очистки от шлама.

Одним из основных путей значительного улучшения показателей бурения ОЭС является применение специальных алмазных коронок ОЭИ, разработанных ЦНИГРИ. Испытания этих коронок в условиях Алмалыкской, Карамкенской, Нижнеамурской и Хинганской экспедиций дали следующие результаты [21]: углубление за рейс увеличилось на 37 %, механическая скорость бурения — на 12 %, расход алмазов снизился в 1,67 раза при выходе керна в сложных геологических условиях 75—92 %. Ранее выход керна в таких условиях не превышал 40—50 %. Вторым направлением следует считать применение гидроударников в комплексе с ОЭС.

§ 2. НАГНЕТАТЕЛЬНО-ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОДУВКА, СОЗДАВАЕМАЯ ОДИНАРНЫМИ ЭЖЕКТОРНЫМИ КОЛОНКОВЫМИ ТРУБАМИ

Для повышения процента выхода керна при колонковом бурении с очисткой забоя воздухом при разведке Комарского месторождения маломagneзиальных мраморов предложен метод бурения с нагнетательно-всасывающей обратной циркуляцией воздуха. Породы в отдельных интервалах сильно трещиноваты. Крупные трещины заполнены обломками мраморов и тонкодисперсным глинистым материалом. По буримости породы относятся к V—IX категориям с различной степенью трещиноватости.

Бурение с прямой циркуляцией воздуха обычно сопровождается низким выходом керна — 0—20 % (по среднекристаллическим мраморам 40—50 %).

Для бурения с призабойной нагнетательно-всасывающей продувкой сконструирован специальный снаряд, представляющий собой одинарную эжекторную колонковую трубу (рис. 47).

Воздух от компрессора ДК-9 по колонне бурильных труб по-

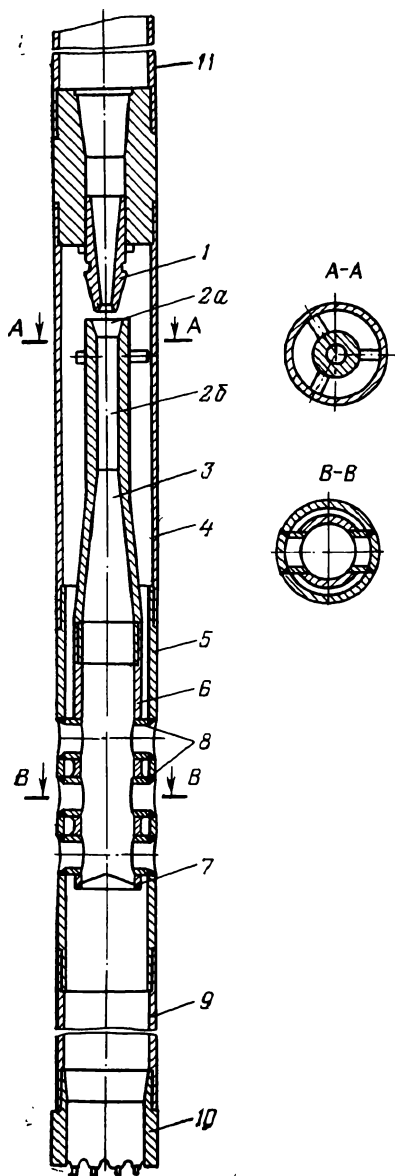


Рис. 47. Схема эжекторного снаряда для бурения с обратной продувкой

дается с большой скоростью (более 300 м/с) через сопло 1 и приемную камеру (соединительную трубу) 4 во входной участок смесительной камеры 2а. В результате скоростного потока воздуха в приемной камере 4 создается разрежение, в результате которого она заполняется воздухом из колонковой трубы 9. Эжектируемый воздух вместе с воздушным потоком, создаваемым компрессором из смесительной камеры 2б, поступает в диффузор 3 и внутреннюю трубу 6, а из нее через соединительные трубки 8 — в затрубное пространство между стенками скважины и буровым снарядом. Здесь общий поток воздуха разделяется: рабочий объем воздуха идет вверх, как при прямой схеме циркуляции, а эжектируемый — вниз. Омывая коронку 10, он проходит через колонковую трубу 9 и по каналам в корпусе эжектора 5 поступает в приемную камеру 4. Чтобы воздух из внутренней трубы 6 не попал внутрь колонковой трубы 9, она закрывается заглушкой 7.

Поток эжектируемого воздуха, поднимающийся по колонковой трубе 9 к приемной камере 4, содержит во взвешенном состоянии частички породы различной величины, которые вместе с воздухом выбрасываются через отверстия трубок 8 в кольцевое пространство. Большая часть пылевидных шламовых фракций поступает в наружную шламовую трубу 11 и выносится на поверхность, а часть поступает снова на забой, дополнительно истирается и участвует

в кольцевой циркуляции забойного потока.

Таким образом, в скважине осуществляется комбинированная (нагнетательно-всасывающая) циркуляция воздуха.

Основные конструктивные размеры газоструйного аппарата бы-

ли установлены по методике расчета газоструйного компрессора [24]. В задачу расчета входило построение профиля газоструйного аппарата исходя из условий, определяющих оптимальный режим его работы.

Техническая характеристика колонкового снаряда с газоструйным аппаратом

Расход эжектируемого потока воздуха, м ³ /мин	1,8
Давление эжектируемого потока, МПа	0,1
Коэффициент эжекции	0,3
Давление рабочего потока воздуха, МПа	0,6
Температура рабочей эжектируемой и смешанной струи воздуха, °С	30
Диаметр сопла в выходном сечении, мм	12,3
Диаметр камеры смещения, мм	19,5
Длина камеры смещения, мм	120
Длина входного участка камеры смещения, мм	5,5
Расстояние от сопла до камеры смещения, мм	24
Угол раскрытия диффузора, градус	8—10

Забуривание скважин с применением комбинированной схемы циркуляции воздуха производили коронками диаметром 132 мм, а основными диаметрами колонковых наборов были 108, 89 и 73 мм. При прямой продувке скважины начинали бурить коронками диаметром 152 мм, а основными диаметрами колонковых наборов были 127 и 108 мм. В аварийных случаях применяли колонковые наборы 89 и 73 мм.

При бурении с прямой продувкой в скважину обычно опускали обсадные трубы на глубину 40—50 м, а иногда на 100 и 120 м, что было вызвано необходимостью перекрытия зон поглощения воздуха и возникающими сальниками.

При комбинированной продувке дополнительное крепление скважин обсадными трубами не производили, поскольку принятый способ позволял бурить в условиях поглощения. Для бурения скважин применяли стандартные твердосплавные коронки МР-2, СМ-1, МР6-1, МР6-16. Лучшие результаты по износостойкости получены при бурении коронками МР6-1 и МР6-16. Угол наклона скважин составлял 75°. По породам от VIII до X категорий бурили стальной дробью-сечкой.

Технология бурения с нагнетательно-всасывающей циркуляцией воздуха имеет некоторые особенности:

расход эжектируемого потока воздуха всецело зависит от величины сопротивления на пути его движения;

в течение рейса величина сопротивлений изменяется, достигая максимального значения к концу рейса;

длина рейса зависит в основном от интенсивности возрастания сопротивлений, которые, в свою очередь, обусловлены характером пород и факторов режима бурения. Длина рейса колебалась от 1 до 2 м, а по глинистым породам тектонических зон уменьшилась до 0,4—0,6 м. С уменьшением диаметра бурения дли-

на рейса возрастала. Рейс, как правило, обрывался самозаклинением керна шламом, оседающим при прекращении циркуляции забойного потока воздуха вследствие чрезмерных сопротивлений.

Дробь на забой подавали мелкопорционным способом с помощью дробопитателей, которые устанавливали над салынником.

В табл. 29 приведены рациональные режимные параметры для

Таблица 29

Породы	Категория пород	Удельное давление на забой, Н/см ²	Давление на резец, Н	Частота вращения снаряда, об/мин
Гиганто- и крупнокристаллические мраморы	V	—	200—300	70—100
Среднекристаллические мраморы	VI	—	300—400	150—200
Мелкокристаллические окварцованные мраморы	VIII—IX	300—350	400—500	150—200

Примечание. Расход воздуха в призабойном потоке зависит от конструктивного исполнения газоструйного аппарата и изменяется в зависимости от сопротивления от 18 м³/мин до 0.

бурения с нагнетательно-всасывающей обратной продувкой различных пород твердосплавными коронками.

Бурение скважин с комбинированной призабойной циркуляцией сжатого воздуха подтвердило вполне удовлетворительную работу газоструйного аппарата. Достигнут высокий выход керна (в среднем 86 против 56 % при прямой продувке). Сравнительные данные по выходу керна в интервалах от нуля до конечных глубин скважин показаны в табл. 30.

Таблица 30

Номер скважины	Конечная глубина скважины, м	Выход керна		Номер скважины	Конечная глубина скважины, м	Выход керна	
		м	%			м	%
Прямая циркуляция воздуха				Комбинированная циркуляция воздуха			
1	320,3	173,70	54,70	10	210,3	164,5	77
2	173,0	78,75	45,52	11	201,6	181,3	90
3	323,4	161,83	50,04	12	185,5	157,2	85
4	275,0	169,30	62,66	13	210,2	183,5	87
5	280,0	166,1	57,89	14	220,7	204,3	97
6	263,5	145,15	54,70	15	213,5	178,4	84
7	195,5	92,50	47,41	16	178,8	151,95	85
8	227,0	125,15	62,67				
9	195,0	156,15	80,76				
Среднее			56,31	Среднее			85,84

Проходка за смену при бурении с комбинированной продувкой оказалась на 10—20 % ниже, чем при бурении с прямой продувкой. Но это снижение не оказало влияния на производительность. Производительность на станко-месяц, наоборот, возросла на 10 %. Снижение производительности в смену произошло за счет снижения проходки за рейс, а увеличение производительности на станко-месяц — за счет устранения явления сальникообразования. Сальникообразование при прямой циркуляции воздуха нередко приводило к авариям и дополнительным спуско-подъемным операциям.

Механическая скорость бурения при прямой и обратной циркуляции была практически одинаковой, при обратной циркуляции повысились качественные показатели бурения скважин по трещиноватым и легкоразрушаемым породам; была исключена потеря нагнетаемого воздуха по трещинам; уменьшилась вероятность сальникообразования. Доказана возможность бурения с нагнетательно-всасывающей циркуляцией воздуха дробовыми и твердосплавными коронками. Следовательно, возможно бурение алмазными коронками и шарошечными долотами.

§ 3. НАГНЕТАТЕЛЬНО-ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА, СОЗДАВАЕМАЯ ДВОЙНЫМИ ЭЖЕКТОРНЫМИ КОЛОНКОВЫМИ ТРУБАМИ

Несмотря на большое количество конструктивных разновидностей двойных эжекторных снарядов, все они работают по одному принципу и служат для создания нагнетательно-всасывающей обратной промывки.

На рис. 48 дана схема устройства и принципа действия двойного эжекторного снаряда. Промывочная жидкость, подаваемая по бурильным трубам с поверхности под давлением насоса, выходит из сопла 1 в приемную камеру 2, увлекает за собой находящуюся в ней жидкость и направляется в камеру смешения 3 и диффузор 4. Далее она поступает в кольцевой зазор между наружной и внутренней колонковыми трубами и движется к забою скважины.

На забое смешанный поток разделяется на основной и эжектируемый. Основной поток направляется к устью скважины в кольцевом зазоре между стенками скважины и колонковым снарядом, а эжектируемый через внутреннюю керноприемную трубу — в приемную камеру 2. Поскольку в приемной камере между насадкой и камерой смешения, при условии подачи сильной струи, все время поддерживается вакуум, то из внутренней колонковой трубы жидкость поступает непрерывно, производя обратную призабойную промывку. Смешанный же поток в двойных эжекторных колонковых трубах образует комбинированную — нагнетательно-всасывающую промывку.

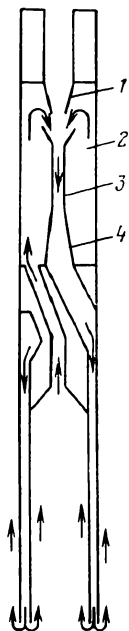


Рис. 48. Схема устройства и принцип действия двойного эжекторного снаряда [16]

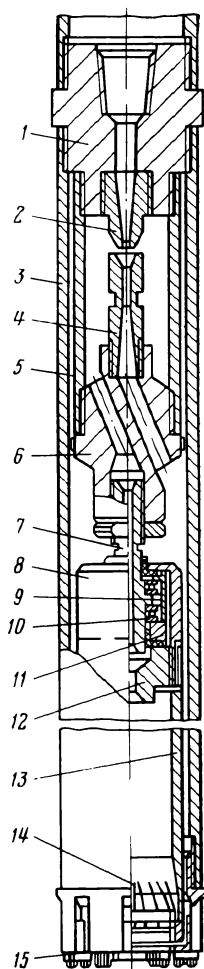


Рис. 49. Двойной эжекторный колонковый снаряд конструкции КазИМСа [16]

Конструктивные разновидности двойных эжекторных колонковых труб

Из большого числа двойных эжекторных колонковых снарядов в настоящее время наиболее распространены двойной эжекторный колонковый снаряд ЭКС конструкции КазИМСа и двойной эжекторный снаряд ДЭС конструкции ЦНИГРИ.

Эжекторный колонковый снаряд для твердосплавного бурения конструкции КазИМСа, принятый к серийному производству, показан на рис. 49 [16].

Колонковый снаряд состоит из следующих основных узлов и деталей: эжекторного насоса (детали 2, 4, 5), закрепленного на

переходнике 1; распределительной головки 6, шарикоподшипниковой опоры (детали 7—12); наружной 3 и керноприемной 13 трубы; керноудерживающего устройства 14, специальной коронки (дробовой, твердосплавной или алмазной) 15. Твердосплавная коронка 15 армируется резцами из твердых сплавов различной формы. В ее боковой поверхности имеются окна и наружные вертикальные пазы для выхода промывочной жидкости во внешнее кольцевое пространство. Такая конструкция коронки обеспечивает полную изоляцию керна от воздействия гидродинамических усилий нисходящего потока промывочной жидкости и очистку забоя скважины от шлама. Внутри коронки имеется цилиндрическая расточка для установки керноудерживающего устройства 14 и центрирования керноприемной трубы 13.

Пружины керноудерживающего устройства 14 вставляются в отверстия корпуса кернодержателя и поджимаются стопорным кольцом.

Такая конструкция кернодержателя позволяет непосредственно на буровой вышке заменять пружины, вышедшие из строя.

Шарикоподшипниковая опора обеспечивает свободное вращение наружной колонковой трубы 3 относительно керноприемной трубы 13.

Опорный винт 7 вращается вместе с наружной трубой и служит для регулирования зазора между корпусом кернорвателя 14 и торцом керноприемной трубы 13. Внутри корпуса 8 подшипникового узла размещается стакан 9, в котором крепится шариковый упорный подшипник 10.

Подшипник закрыт кольцом 11, гайкой 12, а также специальными манжетами, препятствующими проникновению жидкости внутрь подшипника.

Принцип работы ЭКС основан на преобразовании прямого потока жидкости, подаваемой с поверхности по бурильным трубам к переходнику 1, в комбинированный (нагнетательно-всасывающий), осуществляемый эжекторным насосом.

Прямой поток жидкости, вытекая с большой скоростью из сопла 2, увлекает жидкость из всасывающей камеры, заключенной в патрубке 5, смешиваясь с ней, поступает в диффузор 4 и вытекает через канал распределительной головки 6 в зазор между трубами 3 и 13, а затем через специальные окна в твердосплавной коронке — во внешнее кольцевое пространство скважины. Здесь поток промывочной жидкости раздваивается: одна часть поднимается по внешнему кольцевому пространству к устью скважины, а вторая после очистки забоя поступает под торец коронки 15 в керноприемную трубу 13 и через пустотелый опорный винт 7 и канал в распределительной головке 6 — в приемную камеру патрубка 5, создавая призабойную обратную промывку.

Неподвижность керноприемной трубы во время бурения — важное достоинство ЭКС, позволяющее уменьшить разрушение керна в керноприемной трубе за счет трения при вращении бурового снаряда.

**Техническая характеристика двойных эжекторных
буровых снарядов конструкции КазИМСа**

Шифр снаряда	ЭКС-73	ЭКС-89	ЭКС-108	ЭКС-127
Эжекторный насос:				
диаметр проходного от- верстия насадки, мм . .	7	9	10	10
начальный диаметр диф- фузора, мм	12	15	17	17
Диаметр наружной колонко- вой трубы, мм:				
наружный	73	89	108	127
внутренний	65,5	81	99,5	118
Размеры керноприемной тру- бы, мм:				
наружный диаметр . . .	57	73	89	108
внутренний диаметр . .	49,5	65,5	81	99,5
длина	2600	2200	2195	2120
Тип кернодержателя	Пружинный открытого типа			
Диаметр дробовой коронки с закрытыми винтовыми вы- резами, мм:				
наружный	—	91	110	130
внутренний	—	60	76	94,5
Диаметр твердосплавной ко- ронки, мм:				
наружный	77	93	112	132
внутренний	42	58	74	92
Длина снаряда, мм	3220	3120	3130	3130
Масса снаряда, кг	40	62	75	114

В процессе эксплуатации ЭКС в различных геологических усло-
виях был выявлен ряд их конструктивных недостатков:
невозможность производить прямую промывку, необходимую
для очистки забоя скважины от шлама;

отсутствие шламоулавливающих устройств;

серийно выпускаемые твердосплавные и алмазные коронки ма-
лопригодны для бурения с нагнетательно-всасывающей обратной
промывкой ЭКС из-за малого сечения промывочных прорезей в
торцах этих коронок и др.

Устранение отмеченных недостатков в снарядах ЭКС
КазИМСом осуществлялось последовательно. Сначала был создан
снаряд ЭКС [16], позволяющий применять прямую промывку для
очистки забоя скважины от породного шлама перед бурением с
обратной промывкой. Затем был разработан снаряд ЭКС-III, в со-
став которого входит шламоуловитель. Далее были сконструиро-
ваны: снаряды ЭКСП и ЭКСН, в которых изменена конструкция
кернодержателя. Наконец, был разработан снаряд ЭКС-М-73, кото-
рый лишен указанных недостатков (рис. 50).

В колонковом снаряде ЭКС-Т с целью создания прямой промыв-
ки для очистки забоя изменена конструкция сопла 2. Седло сопла 2
в этом снаряде имеет два канала. При подаче потока промывочной
жидкости в седло сопла 2 в нем происходит его разделение. Мень-
шая часть потока через калиброванное отверстие сопла, диффузор
и отверстие распределительной головки выходит в межтрубный

зазор; большая часть потока через боковое отверстие в седле сопла, полость патрубка, отверстие распределительной головки и осевой канал винта проходит в керноприемную трубу и промывает забой скважины.

После промывки забоя в бурильные трубы сбрасывают шарик, который садится в седло сопла и перекрывает выход промывочной жидкости в керноприемную трубу. Тогда весь поток жидкости будет проходить через калиброванное отверстие сопла, создавая восходящий поток жидкости в керноприемной трубе.

Двойные эжекторные снаряды ЭКС и ЭКС-Т не имеют шламоулавливающих устройств, что является их существенным недостатком.

Этот недостаток устранен в конструкции двойного эжекторного снаряда ЭКС-III, который может оснащаться твердосплавными и алмазными коронками. При бурении снарядом ЭКС-III эжектируемый поток, увлекая из керноприемной трубы мелкий керновый материал, поднимается по центральной трубе и через радиальный канал выходит в шламособорник. При выходе из радиального канала мелкие частицы кернового материала под действием центробежных сил отбрасываются к стенке шламособорника и осаждаются вниз, а жидкость, освобожденная от шлама, через верхний радиальный канал поступает в эжекторный насос.

Снаряды ЭКС, ЭКС-Т, ЭКС-III имеют несовершенную конструкцию керналователя, который при бурении находится в контакте с кернами и оказывает сопротивление вхождению последнего в керноприемную трубу. В результате этого происходит некоторое снижение выхода керна, величины проходки за рейс и механической скорости бурения, особенно при бурении мягких пластических пород. Кроме того, керналователь не обеспечивает срыва монолитного керна с забоя.

В целях устранения этого недостатка был разработан двойной эжекторный колонковый снаряд с керналователем закрытого типа, который при бурении не мешает продвижению керна в керноприемную трубу, а при подъеме обеспечивает срыв монолитного керна с забоя.

Двойной эжекторный колонковый снаряд с пластинчатым керналователем ЭКСП состоит из двух взаимно подвижных в осевом направлении узлов — наружного и внутреннего; наружный включает керналователь, а внутренний — запорный механизм и струйный

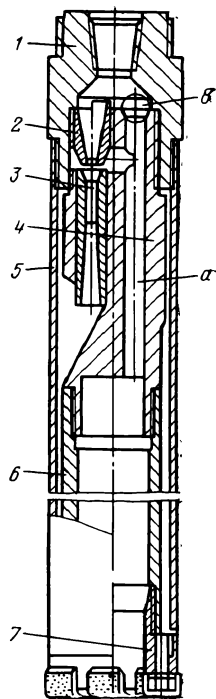


Рис. 50. Снаряд ЭКС-М-73 [16]:

- 1 — переходник; 2 — сопло;
- 3 — смеситель; 4 — распределительная головка;
- 5 — колонковая труба; 6 — керноприемная труба;
- 7 — алмазная коронка; 8 — шариковый клапан

насос. Запорный механизм при спуске снаряда в скважину и бурении удерживает кернорвательные секторы в зазоре между коронкой и керноприемным стаканом, а при подъеме освобождает секторы для срыва и удержания керна и обеспечивает слив жидкости из полости бурильных труб.

Кернорватель представляет собой стальные плоские секторы, размещенные в специальном кольце. Кольцо с секторами устанавливают в специальной расточке буровой коронки, и при бурении оно может вращаться или не вращаться.

Двойной эжекторный колонковый снаряд ЭКСН с кернорвателем нажимного действия состоит из двух взаимно подвижных в осевом направлении узлов — наружного и внутреннего, соединенных переходником. Взаимное передвижение узлов в осевом направлении и передача крутящего момента буровой коронке обеспечиваются шпоночным соединением. Внутренний узел содержит запорный механизм, струйный насос, керноприемную трубу и кернорватель. Запорный механизм выполняет следующие функции: удерживает подвижные узлы в раздвинутом положении при спуске, бурении и подъеме; освобождает подвижные узлы при заклинивании керна; обеспечивает передачу осевой нагрузки на буровую коронку и контроль момента заклинивания керна; выпускает жидкость из внутреннего канала бурильных труб при подъеме.

Предварительные производственные испытания ЭКСН с кернорвателем закрытого типа показали, что снаряд обеспечивает значительное повышение величины проходки за рейс с сохранением высоких показателей выхода керна и надежный срыв керна. Следует отметить относительную сложность конструкции снаряда ЭКСН, что требует более внимательного ухода за ним при эксплуатации.

Снаряд ЭКСП не всегда обеспечивает срыв монолитного керна из-за проскальзывания секторов по керну. В связи с этим его целесообразно применять для бурения мягких, пластических и кристаллических разрушенных пород.

Как показывает практика, выход керна и производительность при бурении эжекторными снарядами в значительной мере зависят от конструкции коронки.

КазИМС разработал двойной эжекторный снаряд ЭКС-Г (рис. 51) для бурения специальными коронками диаметрами 76, 96 и 115 мм с применением гидроударников [7, 16]. Снаряд ЭКС-Г имеет вращающуюся внутреннюю керноприемную трубу. На боковой поверхности коронки есть окна для выхода промывочной жидкости из межтрубного зазора в наружный кольцевой зазор. Выход промывочной жидкости через боковые окна обеспечивает полную изоляцию керна от действия нисходящего потока жидкости.

ЦНИГРИ разработал двойной эжекторный буровой снаряд с невращающейся внутренней трубой. В первоначальном варианте этот снаряд предназначался для бурения часто чередующихся по твердости пород VII—XI категорий с применением серийных алмазных коронок. В этом снаряде внутренняя колонковая труба опе-

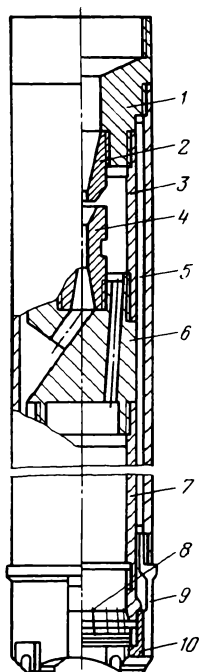


Рис. 51. Снаряд ЭКС-Г [16]:

1 — переходник; 2 — сопло; 3 — патрубок приемной камеры; 4 — диффузор с камерой смещения; 5 — наружная колонковая труба; 6 — распределительный переходник; 7 — керноприемная труба; 8 — керноудерживающие пружины; 9 — стакан; 10 — коронка

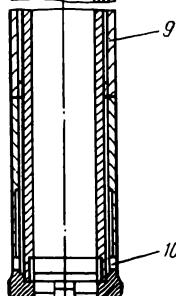
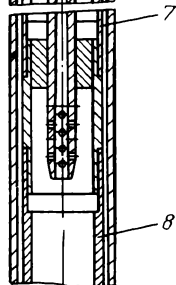
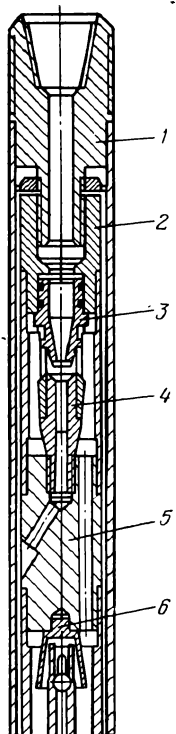


Рис. 52. Снаряд ДЭС конструкции ЦНИГРИ [16]:

1, 2 — переходники; 3 — сопло; 4 — камера смещения с диффузором; 5 — распределитель; 6 — конусный отражатель; 7 — шламовая труба; 8 — керноприемная труба; 9 — наружная труба; 10 — специальная коронка

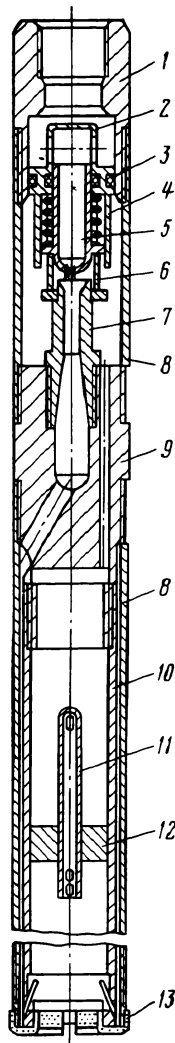


Рис. 53. Снаряд конструкции Н. Н. Суманеева и М. И. Плекханова [16]:

1, 9 — переходники; 2 — колпак; 3 — резиновые манжеты; 4 — поршень; 5 — сопло; 6, 12 — втулки; 7 — смеситель и диффузор; 8 — наружная труба; 10 — внутренняя труба; 11 — трубка; 13 — коронка

режала наружную на 2—10 см в зависимости от геологических условий. Для облегчения регулировки опережения внутренней трубы относительно наружной в конструкцию двойного эжекторного снаряда ЦНИГРИ был включен подвижной шток.

Применение двух серийных коронок на двойных эжекторных снарядах конструкции ЦНИГРИ способствовало высокому расходу алмазов (2—3,5 кар/м) и быстрому выходу их из строя. Для уменьшения расхода алмазов при бурении двойными эжекторными трубами в ЦНИГРИ были разработаны специальные алмазные коронки: импрегнированные ДЭИ и однослойные ДЭА. Наружный диаметр этих коронок 76 и 93 мм, внутренний соответственно 47 и 59 мм.

На рис. 52 показан двойной эжекторный снаряд ДЭС конструкции ЦНИГРИ со специальной алмазной коронкой.

В этом снаряде имеется внутренняя шламовая труба 7, в которой шламопроводящая трубка имеет шаровой обратный клапан и конусный отражатель 6 для лучшего оседания мелких частиц шлама из обратного потока. Использование внутренних шламовых труб таких конструкций необходимо только при бурении с промывкой забоя водой и нецелесообразно при промывке скважин глинистым раствором.

В снарядах ДЭС-73 для повышения механической скорости и снижения расхода алмазов использовали тонкостенные керноприемные трубы диаметром 60 мм с толщиной стенки 2,5 или 3 мм. Это позволило уменьшить толщину матрицы коронки до 14,5 мм.

Двойной эжекторный колонковый снаряд со специальной алмазной коронкой рекомендуется применять при бурении скважин в трещиноватых, раздробленных, абразивных рудоносных породах IX—XII категорий.

При бурении двойными эжекторными снарядами в трещиноватых породах иногда отмечается зашламование забоев скважин. С целью очистки забоев от породного шлама необходимо переходить с обратной промывки на прямую и наоборот.

На рис. 53 изображен снаряд конструкции Н. Н. Суманеева и М. И. Плеханова [16], позволяющий переходить с обратной промывки на прямую и наоборот.

Снаряд снабжен колпаком 2 с перфорированными стенками, который размещен над поршнем 4 с резиновыми манжетами 3 и жестко с ним связан. Поршень и колпак телескопически соединены с соплом 5. Сопло опирается с помощью перфорированной втулки 6 на смеситель с диффузором 7. Снаряд оборудован внутренней шламовой трубой 10, трубкой 11, втулкой 12, специальной алмазной коронкой 13 с керноудерживающими пластинками.

Перед постановкой снаряда на забой в переходник 1 подается жидкость, расход которой превышает расход, поддерживаемый при бурении. За счет избыточного давления жидкости поршень 4 перемещается вниз, сжимая пружину. При этом открывается путь потоку жидкости по кольцевому зазору между поршнем и переходником 1, одновременно перекрываются отверстия в колпаке 2 стен-

ками сопла 5. Создается прямая промывка. При уменьшении расхода жидкости поршень 4 возвращается в исходное положение и жидкость поступает только в сопло, обеспечивая работу струйного насоса, создающего нагнетательно-всасывающую обратную промывку.

ВИТРОм разработаны двойные эжекторные колонковые трубы ТДН-76-Э (рис. 54).

Эти трубы рассчитаны на применение их со специальными алмазными коронками, специальными расширителями или удлинителями с наплавкой релита; для повышения выхода керна при бурении по сильно раздробленным, брекчированным и перемежающимся по твердости породам V—X категорий с промывкой скважин глинистым раствором или водой. В этих трубах керноприемная труба не вращается.

В трубах ТДН-76-Э предусмотрена регулировка положения внутренней керноприемной трубы относительно наружной при помощи муфты 8, которая может перемещаться по резьбе переходника 7. На нижний конец внутренней керноприемной трубы навинчивается кернорвательное устройство, состоящее из корпуса кернорвателя 16, внутри которого размещается рвательное кольцо 15, и упорного переходника 14. Величина зазора между корпусом кернорвателя 16 и матрицей коронки 17 должна быть 2—3 мм. Труба комплектуется также кернорвателем типа «паук» (рис. 54, б), который применяется при бурении по сильно трещиноватым породам.

В трубе имеется шламоулавливающее устройство, состоящее из внутренней шламовой трубы 10, переходника 12 и трубки 11. Внутренняя шламовая труба, так же как и керноприемная труба, не вращается, благодаря наличию подшипникового узла 3.

Двойные колонковые трубы ТДН-76-Э оснащены специальными алмазными коронками КДТ-Э и КДТ-ОЭ, которые предназначены для бурения неустойчивых, легкоразмываемых, сильно разрушенных и часто перемежающихся по твердости горных пород VIII—XII категорий. Коронки имеют утолщенную матрицу (наружный диаметр 76, внутренний 42 мм), а также дополнительные промывочные каналы цилиндрической формы (10 каналов у коронки КДТ-Э и 6—у КДТ-ОЭ), которые выведены на торец коронки между секторами матрицы, а также кольцевую выточку, служащую опорной поверхностью для внутренней керноприемной трубы.

В ПГО Севукргеология партией производственно-технической тематики разработаны двойные эжекторные колонковые снаряды ДЭКС-1(2)-3-76, которые предназначены для повышения выхода керна при твердосплавном и алмазном способах бурения разведочных скважин в сильно трещиноватых, разрушенных, дробленных и перемежающихся по твердости породах V—XI категорий по буримости (рис. 55).

Конструкция этого снаряда обеспечивает прямую промывку керноприемной трубы и забоя скважины перед началом бурения за счет специального устройства в переходнике 1. Подвижная насадка с головкой 2 при подаче насоса до 95—100 л/мин находится

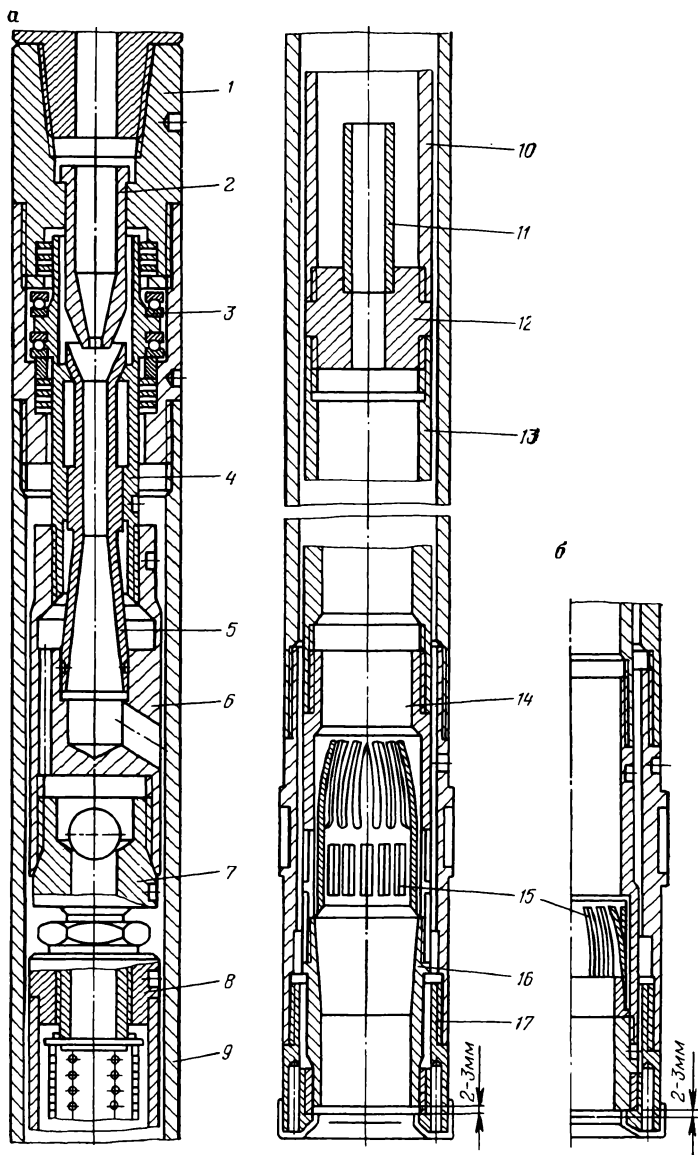


Рис. 54. Двойные эжекторные колонковые трубы ТДН-76-Э конструкции ВИТРа с кернаврательным кольцом (а) и «пауком» (б) [16]:

1, 7, 12, 14 — переходники; 2 — сопло; 3 — упорные шарикоподшипники; 4 — ствол; 5 — смеситель и диффузор; 6 — корпус; 8 — муфта; 9 — наружная труба; 10 — шламовая труба; 11 — трубка; 13 — внутренняя труба; 15 — кернаврательное кольцо; 16 — корпус кернаврателя; 17 — коронка

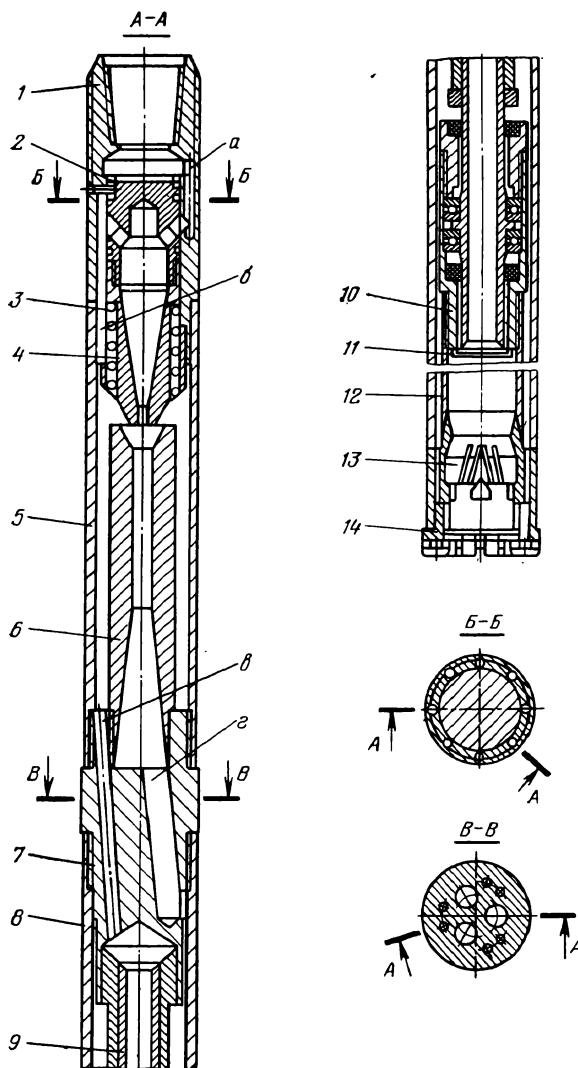


Рис. 55. Колонковый снаряд ДЭКС-1(2)-3-76 конструкции ПГО Севурггеология: 1, 7 — переходники; 2 — головка; 3 — пружина; 4 — сопло (насадка); 5 — патрубок приемной камеры; 6 — диффузор; 8 — колонковая труба; 9 — регулировочный винт; 10 — узел подвески керноприемной трубы; 11 — предохранитель; 12 — керноприемная труба; 13 — кернорватель; 14 — коронка; а, б, в, г, д, е, ж, з — отверстия

в верхнем положении под действием предварительно сжатой пружины 3. При прокачивании промывочная жидкость проходит по каналам а в переходнике 1 и через отверстия в головке 2 поступает в насадку 4.

Если необходимо промыть керноприемную трубу прямым потоком жидкости, подачу насоса увеличивают до 120—150 л/мин.

При этом насадка 4, сжимая пружину 3, движется вниз до упора в диффузор 6, а головка 2, перекрывая в переходнике 1 каналы а, одновременно открывает каналы б. Прямой поток промывочной жидкости по каналам б и в через канал регулировочного винта 9 попадает в керноприемную трубу 12 и, очистив ее и забой скважины, поднимается по затрубному пространству. При снижении

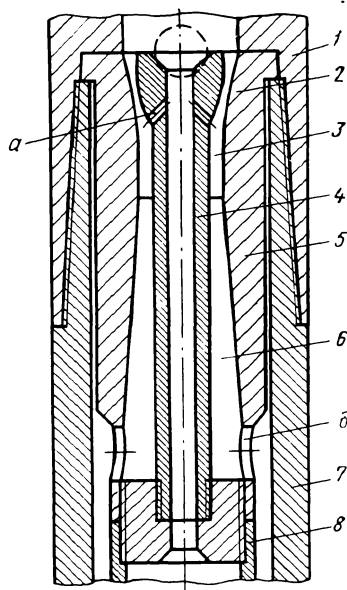


Рис. 56. Струйный насос конструкции УкрНИГРИ [16]:

1 — бурильная труба; 2 — сопло; 3 — камера смешения; 4 — патрубок; 5 — корпус; 6 — диффузор; 7 — наружная труба; 8 — керноприемная труба; а, б — отверстия

подачи до 95 л/мин сопло возвращается в первоначальное положение. Для предотвращения попадания кусочков керна в канал регулировочного винта служит предохранитель 11.

Снаряд ДЭКС-1-3-76 отличается от ДЭКС-2-3-76 более простой конструкцией струйного аппарата, в котором отсутствует узел смещения сопла.

Описанные снаряды имеют невращающуюся внутреннюю керноприемную трубу 12 благодаря наличию подшипникового узла подвески 10. Сочетание призабойной обратной промывки с неподвижностью керноприемной трубы создает более благоприятные условия для формирования и сохранения в процессе бурения керна, который при подъеме удерживается пружинами кернорвателя 13 и кусочками осевшего шлама.

В Полтавском отделении УкрНИГРИ разработан струйный насос, который позволяет переключать прямую промывку на обратную (рис. 56) [16].

Насос состоит из корпуса 5, во внутренней полости которого закреплен патрубок 4 с седлом под шариковый клапан. Корпус и патрубок в сборе образуют кольцевые элементы струйного насоса. Полость патрубков сообщается с полостями бурильной трубы 1 и керноприемной трубой 8.

В верхней части патрубок 4 имеет отверстия а для подсоса потока в камеру смешения. В нижней части корпуса сделаны отверстия б для прохода смешанного потока из диффузора в кольцевое пространство между керноприемной 8 и наружной 7 колонковыми трубами. Корпус струйного насоса установлен в резьбовом соединении труб посредством бурта в верхней части корпуса.

В собранном виде снаряд опускают на забой и включают насос. При этом основная часть потока поступает на забой через патрубок 4. После очистки забоя от бурового шлама в бурильные трубы бросают шар, который садится в седло патрубков 4 и разобщает полости наружной и керноприемной труб. При бурении вся про-

146

мывочная жидкость движется через кольцевое сопло 2, вызывая в керноприемной трубе 8 обратный поток за счет отсасывания жидкости из отверстий *a* в патрубке 4.

Технология бурения

Двойные эжекторные буровые снаряды ЭКС, разработанные КазИМСом, первоначально предназначались для бурения скважин специальными дробовыми и твердосплавными коронками. В связи с заменой дробового бурения на алмазное с этими снарядами начали применять алмазные коронки.

В табл. 31 указаны факторы режима бурения снарядами ЭКС,

Таблица 31

Наружный диаметр снаряда, мм, тип коронки	Категория пород по буримости	Осевая нагрузка, кН	Частота вращения снаряда, об/мин	Расход промывочной жидкости, л/мин	
				Вода	Глинистый раствор
Бурение твердосплавными коронками					
57; 73	IV—VIII	2,5—4,5	120—350	35—120	30—100
89	IV—VIII	4—7	80—350	40—150	35—130
108	IV—VIII	6—9	80—250	50—180	45—160
127	IV—VIII	8—12	80—200	65—200	60—180
Бурение серийными алмазными коронками					
МВ-1	VIII—IX	6—10	100—250	60—120	50—100
МВО-1	VIII—X	6,5—11	100—250	60—120	50—100
МВО-3	IX—X	7—12	120—250	60—120	50—100
АКО-1	VIII—X	5,5—9	100—250	60—120	50—100
АКО-3	IX—X	6,5—11	120—300	60—120	50—100
ИМВ-1	X—XII	5,5—10	150—300	60—120	50—100
ИМВ-2	X—XII	8,5—12	120—250	60—120	50—100
Бурение дробью					
89	VIII—XII	4,5—6	150—270	50—70	40—60
108	VIII—XII	6—7,5	150—270	70—90	50—70
127	VIII—XII	7,5—10	150—270	90—120	80—100

которые выбирают в зависимости от физико-механических свойств пород и вида истирающих материалов и промывочной жидкости.

Нижные значения основных параметров режима бурения, указанные в табл. 31, рекомендуются для проходки малоустойчивых пород, склонных к разрушению под действием механических и гидравлических усилий. В начале рейса количество промывочной жидкости должно соответствовать минимальным значениям, а в

течение рейса его рекомендуется увеличивать на 5—10 л/мин через каждые 20—25 см углубления.

Приведенные режимы бурения ориентировочные, поэтому на каждом участке буровых работ следует опытным путем устанавливать оптимальные значения параметров и применять их в дальнейшем.

При бурении двойными эжекторными колонковыми снарядами ЭКС с использованием серийных алмазных коронок следует выполнять все требования, изложенные во временной инструкции по бурению разведочных скважин алмазными коронками.

Для калибровки стенок скважин в процессе алмазного бурения рекомендуется применять расширитель РМВ-2. Коронку для керноприемной трубы выбирают с учетом внутреннего диаметра этой трубы. Опережение торца внутренней коронки относительно наружной должно быть в пределах 15—25 мм.

Нижние значения осевой нагрузки и частоты вращения снаряда, приведенные в табл. 31, относятся к более трещиноватым, раздробленным породам.

Расход промывочной жидкости в начале рейса должен соответствовать минимальным значениям, указанным в табл. 31. После бурения 0,3—0,4 м количество промывочной жидкости следует увеличивать на 7—10 л/мин через каждые 25 см углубления вплоть до максимальных значений.

Для заклинивания керна необходимо в конце рейса снизить расход промывочной жидкости до 10—15 л/мин, уменьшить нагрузку на забой до 2 кН и частоту вращения снаряда до 100 об/мин и на этом режиме продолжить бурение в течение 3—5 мин. При этом керн будет заклиниваться в конусной расточке внутренней коронки оседающими частицами породы. Во избежание выпадения керна при подъеме снаряда колонну бурильных труб необходимо ставить на подкладную вилку плавно, не допуская резких толчков.

Технико-экономические показатели

Двойные эжекторные колонковые снаряды внедряются в первую очередь там, где бурение обычными техническими средствами сопровождается низким выходом керна. Эжекторная двойная колонковая труба конструкции Н. С. Левченко была испытана в ГРП им. III Интернационала на глубине 250—350 м по окварцованным серицитовым и хлоритовым сланцам, в которых выход керна при прямой промывке составлял от 0 до 8 %. При бурении с двойной колонковой трубой он повысился до 50—100 %. Бурили твердосплавными коронками МР при подаче в скважину глинистого раствора в количестве 120—150 л/мин. Максимальная проходка за один рейс составляла 2,33 м.

На Соколовском и Сарбайском железорудных месторождениях при проходке порошковых и трещиноватых руд наблюдался низкий выход керна. По рудным интервалам бурили двойными колонковыми трубами с твердосплавными коронками. Глубина сква-

жин достигала 800—900 м. В качестве промывочной жидкости применяли глинистый раствор и реже воду. В этих условиях была испытана двойная колонковая труба эжекторного типа конструкции Свердловского горного института. Диаметр сопла 8 мм, горловина диффузора 12 мм, конусность диффузора 1/5. Расход промывочной жидкости был не менее 100 л/мин; перепад давления жидкости в сопле составлял 0,8 МПа; понижение давления в смесителе 0,2 МПа.

Эжекторную трубу испытывали на глубине 650 м в сильно разрушенных роговиках и скарнах. Применяли твердосплавные коронки диаметром 112 мм. Из пробуренных 51,1 м поднято керны 42,2 м. Выход керна составил 82 %. Средняя проходка за рейс около 2 м.

В табл. 32 приведены сравнительные данные по выходу керна

Таблица 32

Месторождение	Бурение снарядами ЭКС-108			Выход керна до применения снаряда ЭКС, %
	Вид истирающего материала	Проходка, м	Выход керна, %	
Высокое	Дробь	498	72,4	4,0
Шалкия	»	558	71,0	44,0
Архалы	Твердые сплавы	54	87,0	46,0
»	Дробь	93	92,0	32,0
Таскайнар	»	585	72,0	38,0
Текели	»	72	70,0	49,0
Алакуль	Твердые сплавы	128	73,0	29,0
Орловка	Дробь	310	74,0	32,0
Красноярское	Твердые сплавы	163	78,0	44,0
Мурунату	Дробь	149	72,6	36,1
Саурейское	»	39	64	Нет
Итого		2649	73,5	35,4
В том числе	Дробь	2304	72,3	39,2
	Твердые сплавы	345	77,5	33

при бурении ЭКС конструкции КазИМСа и обычными техническими средствами с применением дробовых и твердосплавных коронок.

При бурении снарядами ЭКС установлены следующие закономерности.

1. При постоянной величине проходки за рейс процент выхода керна снижался с возрастанием категории буримости пород, что

объясняется более длительным временем пребывания керн в буровом снаряде.

2. С увеличением количества промывочной жидкости до 100 л/мин выход керн и проходка за рейс повышались, что объясняется лучшей очисткой забоя скважины от шлама. Дальнейший рост расхода жидкости при дробовом бурении приводит к уменьшению выхода керн и выносу работоспособной дроби с забоя скважины. Лучшие результаты выхода керн получены при расходе жидкости в начале рейса 50 л/мин и в конце его 90 л/мин.

При бурении снарядами ЭКС-108 максимальная проходка за рейс достигала 2,5—2,75 м при выходе керн 68—80 %. Последний был тем выше, чем сильнее разрушены породы. Снаряд ЭКС-108 при питании забоя скважины дробью с помощью дробопитателей обеспечивает более высокие показатели по производительности и выходу керн, чем при рейсовом способе питания.

Колонковый снаряд ЭКС-108 с твердосплавной коронкой был испытан при бурении с продувкой сжатым воздухом на Агата-Чибаргатинском месторождении, геологический разрез которого состоят в основном породы IX категорий. Выход керн составил 100 %, проходка за рейс 1,6 м, механическая скорость бурения значительно превышала нормативную. Полученные данные свидетельствуют о том, что снаряд ЭКС-108 вполне пригоден для бурения скважин с продувкой сжатым воздухом.

Колонковый снаряд ЭКС-А конструкции КазИМСа с серийными алмазами коронками применяли при бурении скважин по рудным зонам VIII—XI категорий, где выход керн обычными техническими средствами не обеспечивался.

На месторождении Текели снарядом ЭКС-А пробурено 649 м, получено керн 80 %, а обычным способом — от 0 до 30 %. На месторождении Шалкия пройдено 172 м с выходом керн 76 %, а обычным способом он составил 20—40 %.

Однако показатели бурения снарядом ЭКС-А оказались хуже, чем при обычном способе бурения. Особенно резко увеличился расход алмазов на 1 м бурения; он возрос в 2,5—3 раза. Это объясняется тем, что в керноприемной трубе этих снарядов возникали большие гидравлические сопротивления из-за малых проходных каналов для прохода промывочной жидкости в алмазных коронках, что приводило к перегреву коронок и преждевременному выходу их из строя. Поломки наружной коронки в основном связаны с образованием трещин в матрице, которые возникают при вибрации и происходящем при этом биении ее о внутреннюю коронку. К недостаткам снаряда ЭКС-А следует также отнести отсутствие керноудерживающего устройства, что иногда приводило к выпадению керн при подъеме бурового снаряда.

За счет повышения скорости восходящего потока улучшаются условия сохранения керн в керноприемной трубе, снижаются случаи самозаклинивания, увеличивается проходка за рейс и повышается механическая скорость бурения. Повышения скорости восходящего потока в керноприемной трубе можно достигнуть путем:

уменьшения величины опережения ее относительно наружной трубы до 18 мм; сверления отверстий в боках коронки для внутренней трубы; увеличения числа водоструйных насосов (до трех); применения специальных алмазных коронок.

При применении специальных алмазных коронок с промывочными отверстиями с двойными эжекторными снарядами на угольных месторождениях выход керна составил 73 % при углублении за рейс в пределах 1,2—3,1 м и механической скорости 2,38 м/ч.

При применении специальных коронок с промывочными окнами в породах IV категории получены следующие показатели: выход керна 89 %, механическая скорость 3,15 м/ч, углубление за рейс 1,8 м; в породах VI—VII категорий соответственно 87,9 %; 2,08 м/ч; 1,72 м; VII—VIII категорий — 82,8 %; 1,47 м/ч; 1,68 м.

Испытания ДЭС конструкции ЦНИГРИ выполнялись в различных геологических условиях. Для сравнения бурили разными чередующимися через один-два рейса техническими средствами, одинарными эжекторными снарядами (ОЭС) и двойной эжекторной трубой (ТДН) конструкции ВИТРа. Показатели бурения ДЭС и другими техническими средствами отражены в табл. 33.

Общий объем бурения ДЭС в период испытаний превысил 2,7 тыс. м. В Горловской экспедиции снаряды ДЭС и ТДН использовались с гидроударниками ГВ-5, положительно влияющими на механическую скорость бурения (рост на 10—41 %), углубление за рейс (рост на 21—30 %) и выход керна.

По сравнению с ТДН и ОЭС снаряды ДЭС позволяют повысить производительность бурения соответственно на 25—31 и 22—37 %.

Экономическая эффективность от применения одного ДЭС в Горловской и Джунгарской экспедициях составила 250—1260 руб.

В процессе опытных работ в Горловской экспедиции установлено, что использование ДЭС с закрытой шламовой трубой обеспечивает высокий выход керна (80—90 %) и повышает достоверность опробования руд. Наилучшие значения углубления за рейс и выхода керна достигнуты при вращающейся керноприемной трубе. Вращательное движение трубы способствует стабилизации обратной циркуляции промывочной жидкости и хорошей сохранности керна.

Двойные эжекторные колонковые снаряды ДЭС с подвижным штоком конструкции ЦНИГРИ диаметрами 57/46 и 73/57 мм применяли в Комсомольском районе при бурении по трещиноватым породам IX—XII категорий [23]. Снарядами было пробурено 483 м скважин. Выход керна составил 63—78 % по сравнению с 30—45 % при обычном способе бурения. Проходка за рейс составляла 1,0—1,1 м, а механическая скорость бурения — 0,35—1,5 м/ч. Дальнейшая опытная эксплуатация этих снарядов показала неэффективность их по производительности и высокий расход алмазов (2—3,5 кар/м) из-за применения двух алмазных коронок, которые сравнительно быстро выходили из строя.

Двойные эжекторные снаряды ДЭС-73 с опытными алмазными

Экспедиция	Тип колонкового снаряда	Проходка, м	Средняя взвешенная категория пород	Выход керна, %			Углубление за рейс, м	Механическая скорость бурения, м/ч	Расчетная производи- тельность в смену, м	Расход алмазов, кар/м
				по руде при буре- нии одинарной трубой	по плану	фактический				
Чаткальская	ТДН-76-0	36	10,8	40—60	70	72	1,38	0,94	2,33	2,26
	ДЭС-73	136	10,9			75	1,88	1,22	2,92	1,97
Хинганская	ОЭС-73	153	10,6	28—53	70	79	1,02	0,72	1,98	2,07
	ТДН-76-0	23	10,6			68	1,28	0,59	1,85	1,95
	ДЭС-73	334	10,5			76	1,85	0,80	2,42	1,47
Джунгарская	КСАБ-ОП	133	10,4	40—60	70	72	1,60	1,84	3,06	1,88
	ОЭС-73	206	10,6			81	0,93	1,23	2,33	1,82
	ДЭС-73	1093	10,8			78	2,04	1,50	3,21	1,15
Горловская	ОЭС-89	122	8,4	30—80	80	89	1,05	0,97	2,24	—
	ТДН-93-2/0	1707	8,5			84	1,50	0,88	2,33	1,42
	ДЭС-89	1111	8,5			86	1,96	1,21	2,96	1,07

Примечание. В ОЭС-89 был использован эжектор СЭС-73.

коронками применяли для бурения скважин в сложных условиях Хинганского железорудного района на Дальнем Востоке и на месторождениях Средней Азии. Было установлено, что при бурении этими снарядами выход керна составлял 73—78 %, проходка за рейс 1,88 м, механическая скорость по породам IX—XII категорий 0,81 м/ч и расход алмазов 1,16 кар/м.

Использование ДЭС обеспечивает по сравнению с ранее применявшимися снарядами ОЭС повышение производительности бурения на 36—40 % при кондиционном выходе керна [16].

При бурении двойными эжекторными колонковыми трубами ТДН-76-Э конструкции ВИТРа [16] со специальными коронками КДТ-Э в производственных условиях Южукргеологии средний выход керна составил 82 %, в то время как при бурении одинарными трубами керн почти совсем не поднимался; на Чадакском месторождении выход керна составил 58 %, а при бурении обычным способом 10—15 % [16].

При бурении снарядами ДЭКС-1 (2) -3-76 в Закарпатской геологической экспедиции [16] в сильнотрещиноватых окварцованных туфах выход керна составил 84 % против 40—50 % при использовании обычного способа бурения; углубление за рейс соответственно 1,0—1,45 и 0,88—1,33 м, механическая скорость бурения 0,9—1,5 и 1,05—1,6 м/ч.

На основании приведенных данных можно отметить следующие достоинства двойных эжекторных колонковых труб:

- обеспечивают высокий процент выхода керна, что способствует увеличению качества геологической документации;

- по некоторым породам увеличивают проходку за рейс и тем самым повышают производительность буровых работ;

- исключают прихват бурового снаряда шламом, что способствует меньшей аварийности.

К недостаткам этих труб можно отнести следующие:

- снижение механической скорости бурения по некоторым видам пород по сравнению с величинами ее при использовании одинарных эжекторных снарядов;

- значительное увеличение расхода алмазов.

Конструкции двойных колонковых эжекторных снарядов непрерывно совершенствуются и вследствие этого увеличиваются их достоинства и снижаются недостатки.

ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА ПРИ БУРЕНИИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Бурение — прогрессивный способ проходки стволов шахт, при котором полностью механизмируются все работы по разрушению и транспортированию породы, а также исключается тяжелый ручной труд подземных рабочих. Оно является одним из самых перспективных направлений по автоматизации проходки вертикальных горных выработок без присутствия людей в забое.

В табл. 34 и 35 представлены технические характеристики оте-

Таблица 34

Показатели	Установки			Агрегат ТМ-2,3	Установка ТМ-6,5
	УКБ-3,6р	УКБ-3,6м	УКБ-5у		
Диаметр ствола, м	3,6	3,6	5,0	2,3	6,5
Диаметр ствола в свету, м	3,2	3,2	—	—	5,6—6,0
Глубина бурения, м	500	700	700	400	500
Коэффициент крепости бури- мых пород по М. М. Протодьяконову	10	12	10	До 12	До 12
Частота вращения ротора, об/мин	10—30	10—30	10—30	6,5	—
Установленная мощность электродвигателя, кВт	2000	1080	2800	130	970
Одновременно потребляемая мощность, кВт	1000	1000	1400	—	600
Удельный расход электро- энергии, кВт·ч/м³	148	223	180	—	—
Максимальный крутящий мо- мент ротора, кН·м	200	200	—	—	—
Расход промывочной жид- кости, м³/ч	320	400	—	300	—
Техническая скорость буре- ния, м/мес	150	150	120—140	150—200	До 200
Состав бригады в смену, чел.	10	9	7—8	—	—
Масса буровой установки (агрегата), т	1000	672	1100	28,5	600

чественных буровых установок для бурения шахтных стволов соответственно сплошным забоем и колонковым способом.

Отечественная и зарубежная практика доказала эффективность бурения вертикальных стволов диаметром до 5 м и глубиной до 1000 м и более в мягких, средней крепости и крепких породах. Бурение стволов диаметром 4,5—6 м эффективно осуществляется только в мягких водоносных породах.

Таблица 35

Показатели	УЗТМ-6,2	УЗТМ-7,5	УЗТМ-8,75	РТБ-2,08	РТБ-3,72	УРТБ-6,2	М-324	Щепотье- ва—Ивано- ва	Комбайн КБУ-3,6
Максимальный диаметр бурения, м	6,2	7,5	8,75	2,08	3,72	6,2	2,46	2,4	3,6
Предварительные фазы расширения для получения окончательного диаметра, м:									
I	1,2	3,0	3,0	1,02	2,61	0,76	2,4	0,6	3,6
II	3,6	5,75	5,75	2,08	3,72	2,35	—	0,9	—
III	6,2	7,50	7,0	—	—	3,60	—	1,2—1,5	—
IV	—	—	7,5	—	—	4,90	—	1,8—2,1	—
V	—	—	8,75	—	—	6,2	—	2,4	—
Глубина бурения, м	400	550	800	1000	500	1000	300	550	800
Коэффициент крепости буримых по- род по шкале М. М. Протодя- конова	2—4	2—4	2—4	6—10	6—10	6—10	4—6	До 8	До 10
Механическая скорость бурения, м/ч	0,08—0,158	0,08—0,158	0,6	0,6	0,6	0,5—0,8	—	0,08	—
Техническая скорость бурения (по проекту), м/мес	75	156	70	—	100—200	100—250	—	25	—
Грузоподъемность талевой систе- мы, кН	25	25	50	13	13	13	10	13—15	15—25

Показатели	УЗТМ-6,2	УЗТМ-7,5
Максимальный крутящий момент, кН·м	200	200
Установленная мощность электродвигателей, кВт	2500	1570
Максимальная одновременно потребляемая мощность, кВт	1600	1200
Удельный расход электроэнергии в зависимости от фаз бурения и крепости буримых пород, кВт·ч/м ³	—	158—646
Частота вращения ротора, об/мин	10—60	7—28
Высота вышки до оси кронблока, м	38,5	42,2
Подача насоса, м ³ /ч	700	1000
Рабочее число буровых насосов	2	4
Состав бригады по проходке ствола, чел.	8	8—10
Масса установки, т	1200	1200

Продолжение табл. 35

УЗТМ-8,75	РТБ-2,08	РТБ-3,72	УРТБ-6,2	М-324	Щепотьева—Иванова	Комбайн КБУ-3,6
500	Вращение реактивным способом			150	80	240
3230	2000	2000	4160	400	500	160
1800	1500	1200	3000	—	200	—
45—225	—	160	250	—	—	—
5—30	2—20	—	—	До 25	6—40	—
48,5	28	—	35	—	—	—
1500	—	400	2050	—	—	—
4	4	4—5	6	—	—	—
12—15	6	5	8	—	5	—
2000	200	200	785	200	200	53

Большую работу по развитию техники и технологии бурения и способов промывки при бурении шахтных стволов проделали тресты Шахтострой и Спецшахтобурение, а также ЦНИИПодземмаш, ВНИИБТ, ВНИИОМШС и Уралмашзавод.

С усовершенствованием техники и технологии бурения шахтных стволов область эффективного применения шахтобурильных установок будет расширена.

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ ОБРАТНОЙ ПРОМЫВКИ ПРИ БУРЕНИИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Большинство исследователей разделяют промывку шахтных стволов на прямую, обратную и комбинированную.

А. Т. Николаенко разделил промывку шахтных стволов на прямую, обратную, совмещенную и периодическую [17].

Прямая промывка применяется при бурении шахтных стволов агрегатами РТБ-2,08, установками УКБ-3,6 и в некоторых роторных установках США. Циркуляция производится по той же схеме, что и при прямой промывке скважин (см. рис. 1). Достоинство прямой промывки — хорошее омывание разрушающего инструмента и забоя, недостаток — малая скорость восходящего потока.

В. А. Федюкин классифицировал обратную промывку по средствам ее создания на эрлифтную, насосную, воздушную (газовую). Эрлифтную обратную промывку он подразделил по месту расположения ее создания: в бурильной колонне, в боковой скважине. Комбинированный способ промывки он разделил на периодический и совмещенный, а совмещенный, в свою очередь, — через двойную бурильную колонну и через боковую скважину [29]. В классификации В. А. Федюкина не учитывается характер воздействия средств, создающих промывку, на направление ее движения: нагнетание или всасывание.

По характеру воздействия на промывочные агенты различных устройств, создающих обратную промывку, последняя делится на нагнетательную, всасывающую и комбинированную (нагнетательно-всасывающую) (рис. 57).

Нагнетательная обратная промывка подразделяется: по кольцевому зазору с поверхности и по двойной колонне бурильных труб с поверхности. Нагнетательная обратная промывка по кольцевому зазору с поверхности может быть создана по схеме (см. рис. 1, б). На практике она не нашла применения из-за сложности герметизации устья шахтного ствола и из-за больших потерь промывочной жидкости на забое. Нагнетательная промывка по двойной колонне бурильных труб с поверхности обычно выполняется по схеме (см. рис. 13). Она применяется при бурении скважин большого диаметра.

Всасывающая обратная промывка, создаваемая центробежными насосами, нашла достаточно широкое применение за рубежом при бурении скважин большого диаметра. Она выполняется по схеме, представленной на рис. 20. Всасывающая обратная промывка, соз-

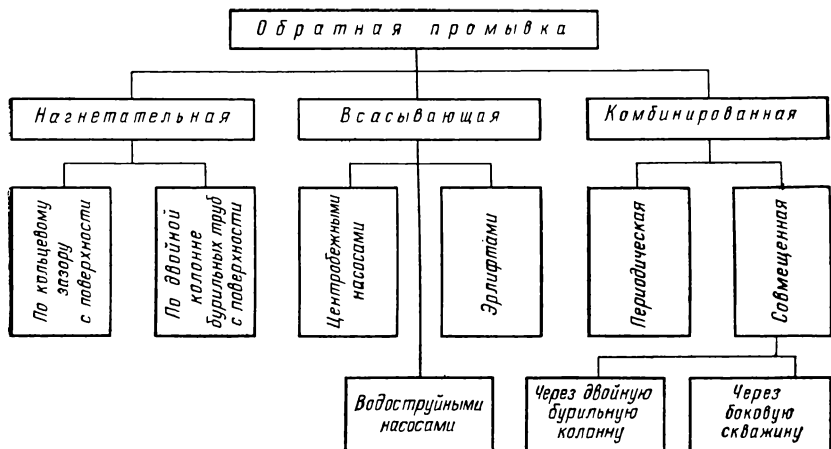


Рис. 57. Классификация способов обратной промывки при бурении шахтных стволов

даваемая эрлифтом, выполняется по схеме, изображенной на рис. 24 и 58. Этот вариант обратной промывки получил наибольшее применение как в СССР, так и за рубежом из-за простоты конструктивных решений для ее создания и надежности их в работе. В СССР этот вид обратной промывки применяют в установках УЗТМ, УКБ, КБУ и др.

Комбинированная (нагнетательно-всасывающая) промывка делится на периодическую (последовательную) и совмещенную (параллельную).

Периодическая промывка применяется на многих шахтобурильных установках. Она позволяет периодически менять прямую промывку на обратную (по мере надобности) и наоборот. Осуществляется она с помощью соответствующей обвязки насосов или компрессоров на поверхности. Чаще других периодическая обратная промывка применяется при бурении установками РТБ.

Совмещенная (параллельная) обратная промывка выполняется по схеме, когда часть жидкости, подаваемой к забоям, движется как при прямой, а вторая часть как при обратной промывках. Совмещенная обратная промывка может быть создана с помощью двойной буровой колонны, что практикуется при бурении установками УЗТМ или с помощью боковой скважины. Это нашло применение при бурении установками РТБ. Оба варианта совмещенной обратной промывки применяются весьма редко.

В США совмещенная промывка по двойной колонне иногда осуществляется с помощью воздушной эмульсии.

Из всех разновидностей обратной промывки наиболее распространены всасывающая обратная промывка с помощью эрлифта и периодическая промывка (для агрегатов РТБ).

§ 2. ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА ПРИ БУРЕНИИ ШАХТНЫХ СТОЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭРЛИФТА

На рис. 58 изображена схема обратной промывки при бурении шахтных стволов с применением эрлифта [30].

Промывочная жидкость из емкости 1 по желобному каналу 2 поступает в шахтный ствол и перемещается вниз в призабойную

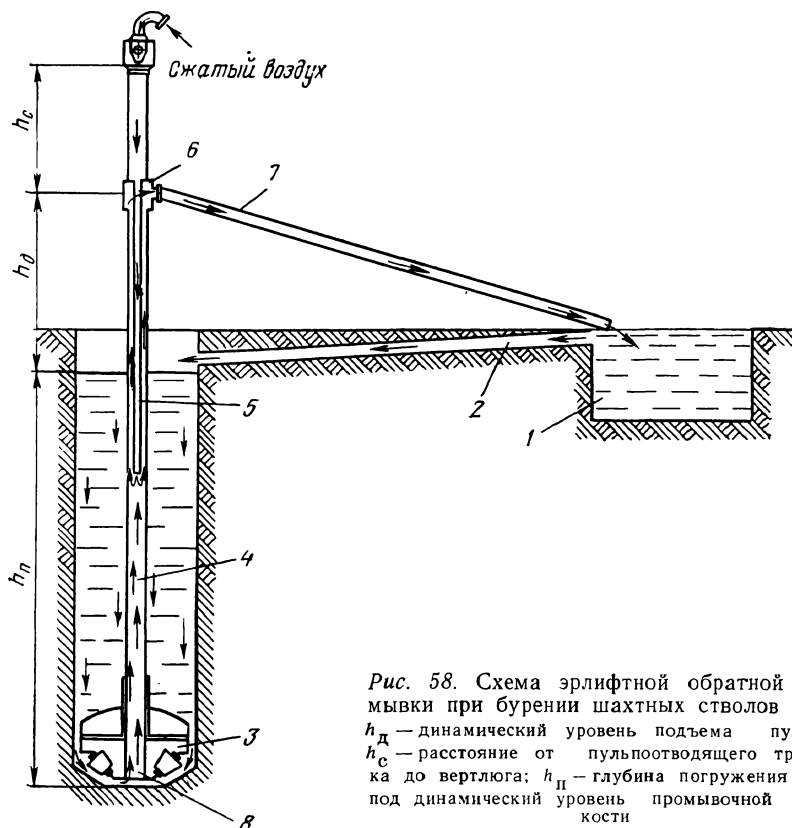


Рис. 58. Схема эрлифтной обратной промывки при бурении шахтных стволов [30]:
 h_d — динамический уровень подъема пульпы;
 h_c — расстояние от пульпоотводящего тройника до вертлюга; h_n — глубина погружения бура под динамический уровень промывочной жидкости

зону, омывает забой и буровой наконечник 3 и вместе с разбуренной породой эрлифтом засасывается в бурильную колонну 4 через всас 8. По бурильной колонне промывочная жидкость поднимается вверх и через пульпоотводящий тройник 6 по шлангу 7 поступает в систему очистных сооружений и отстойник 1.

Сжатый воздух от компрессорной станции подается по шлангу к сальнику-вертлюгу и по воздушным трубам 5 к смесителю эрлифта. От смесителя сжатый воздух выходит в бурильную колонну 4, которая заполнена промывочной жидкостью. Пузырьки воздуха, смешиваясь с промывочной жидкостью, снижают ее плотность до $0,65 \text{ г/см}^3$. В результате разности плотностей промывочной жидкости в бурильной колонне 4 и в шахтном стволе по за-

кону сообщающихся сосудов жидкостей с разными плотностями промывочная жидкость поднимается вверх по бурильной колонне 4 и через тройник 6 изливается по трубопроводу 7 в отстойник.

Для нормальной работы эрлифта диаметр бурильной колонны должен быть не менее 250 мм. Чем больше диаметр бурильной колонны, тем меньше гидравлические сопротивления и больше подача эрлифта.

Всас 8 эрлифта располагается в буре. По конструкции всасы бывают центральные, рассредоточенные и щелевидные.

Центральный всас находится в нижнем конце вертикальной трубы. Он имеет рыхлитель или направляющую корзину. При вращении расширителя возникает центробежная сила, которая препятствует перемещению разбуренной породы и жидкости к центральному всасу эрлифта. Жидкость и порода перемещаются к всасу не по радиусу, а по спирали.

Рассредоточенный всас состоит из трех-четырех патрубков овальной или круглой формы, вмонтированных в буре. Один из этих всасов расположен в центре, один — на периферии бура, остальные — в середине.

Щелевидные всасы бывают вертикальные и горизонтальные. Вертикальные всасы выполнены в виде прямоугольного короба, длинная сторона которого совпадает с радиусом бура. Верхняя часть короба патрубками соединена с эрлифтной трубой. Горизонтальные всасы выполнены в виде кольцевой щели, соединенной в середине с эрлифтной трубой.

Суммарное сечение всаса определяется в зависимости от подачи эрлифта по формуле $Q_0/F \geq 3-4$.

Воздушный став 5 состоит из труб диаметром 50—100 мм и длиной 6—8 м каждая, которые соединены на конической резьбе. На нижнем конце става закреплен смеситель (форсунка) — труба длиной 1,5—2 м, на которой просверлено 1500—2000 отверстий диаметром 2 мм. Воздушный став обычно размещают в центре бурильной водоподъемной колонны. За рубежом в установке фирмы А ВИРТ и К° воздушный став смонтирован по внешней стороне труб бурильной колонны [30].

При бурении шахтных стволов применяют воздушные компрессоры подачи 20—50 м³/мин с давлением сжатого воздуха 0,8 МПа (при $h_{см}=50-60$ м). В установке УЗТМ-8,75 используют компрессоры с давлением сжатого воздуха 2 МПа (при $h_{см}=140-150$ м). На некоторых установках есть передвижные компрессоры с давлением воздуха 0,8 МПа и подачей 9 м³/мин.

Эрлифтная обратная промывка предусмотрена в установках УЗТМ-6,2, УЗТМ-7, УЗТМ-8,75, УКБ-3,6М, УКБ-5у, ТМ-2,3, ТМ-6,5, КБУ-3,6, КБУ-7,5.

В табл. 36 приведены фактические размеры бурильных и воздушных труб, характеристика компрессоров и эрлифтов при бурении шахтных стволов.

Исследования эрлифтной всасывающей промывки показали следующее [30]:

Внутренний диаметр труб, мм		Максимальная длина, м		Высота подъема пульпы, м	Подача компрессоров, м ³ /мин	Рабочее давление компрессоров, 10 ⁴ Па	Подача эрлифта, м ³ /ч
бурильных	воздушных	бурильных труб	погружения воздушных труб				
250	50	100	20—30	5—10	15—23	25—35	75—130
424	75	320	100—120	8—10	25—37,5	120—150	500—600
424	75	193	60	7—8	25	75	420
424	75	193	60	7—8	50	75	774
424	75	193	60	7—8	75	75	876
424	75	193	60	7—8	100	75	988
424	75	282	125	9	20	155	680
424	75	282	125	9	40	155	1020
424	75	282	125	9	60	155	1240
330	50	710	81	9	34	85	550
330	50	765	187	—	50	200	720

с увеличением вязкости и плотности промывочной жидкости подача эрлифта снижается, а расход сжатого воздуха возрастает;

одним из главных способов повышения подачи эрлифта является увеличение глубины погружения става воздушных труб под динамический уровень жидкости в стволе, так при подаче компрессором 40 м³/мин воздуха и динамической высоте 9 м увеличение погружения смесителя от 60 до 125 м повышает подачу эрлифта от 725 до 1100 м³/ч;

с увеличением динамической высоты подъема пульпы h_d подача эрлифта Q_e уменьшается прямо пропорционально изменению h_d ; при увеличении частоты вращения бура подача эрлифта снижается;

с увеличением расхода воздуха, подаваемого к смесителю, подача эрлифта повышается до определенного предела.

Достоинство эрлифтной обратной промывки — высокая скорость восходящего в бурильной колонне потока промывочной жидкости, что обеспечивает вынос кусков породы породы массой до 10 кг. Недостаток ее — малая радиальная скорость промывочной жидкости в призабойной зоне. По этой причине происходит повторное дробление разбуренной породы и образуются «сальники» на шарошках.

§ 3. ВСАСЫВАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА ПРИ БУРЕНИИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДОСТРУЙНЫХ НАСОСОВ

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ) разработал эжекторный снаряд, предназ-

наченный для бурения с обратной промывкой скважин и вентиляционных шахтных стволов диаметром от 0,5 до 2 м.

Эжекторный снаряд (рис. 59) может применяться в условиях полного поглощения промывочной жидкости при максималь-

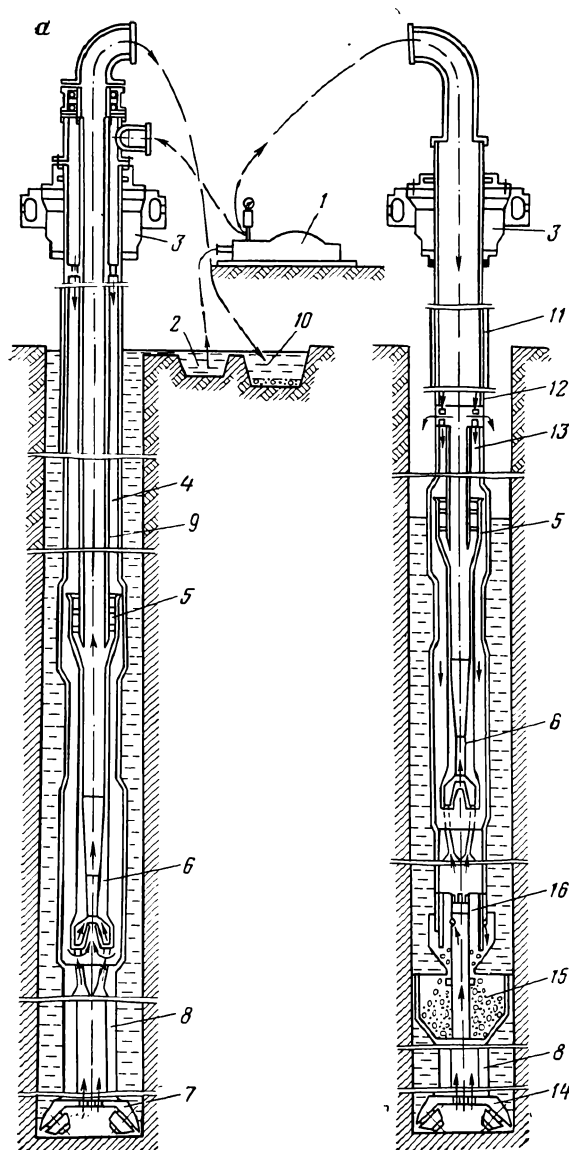


Рис. 59. Схема обратной промывки стволов и скважин эжекторным снарядом ЭСБ-168/245: с непрерывным транспортированием разрушенной породы на поверхность (а) и с накоплением разрушенной породы в шламособорнике (б)

ной глубине динамического уровня жидкости в скважине (стволе) 280—300 м.

Всасывающая обратная промывка забоя с непрерывным транспортированием разрушенной породы на поверхность (рис. 59, а) осуществляется в определенной последовательности. Буровой насос 1 всасывает воду из отстойника 2 и нагнетает в вертлюг 3. По кольцевому пространству между двойными бурильными трубами 4 и 9 вода поступает к соплу водоструйного насоса 6, где в приемно-смесительной камере создается разрежение, вызывающее приток жидкости от шарошечного долота 7 по каналу утяжеленных труб 8. После смешивания двух потоков в камере смешения промывочная жидкость, содержащая частицы породы благодаря напору, создаваемому водоструйным насосом, движется по водоподъемным трубам 9 и через выкидной шланг сливается в отстойник 10. После отстоя очищенная от породного шлама жидкость поступает в отстойник 2 и к устью скважины.

Снаряд для создания обратной промывки забоя с накоплением разрушенной породы в шламособорнике изображен на рис. 59, б. Промывочная жидкость от насоса 1 подается в патрубок вертлюга 3, а затем по ведущей трубе 11 — в колонну бурильных труб 12. Далее в переходнике 13 прямой поток промывочной жидкости направляется в зазор между компенсатором 5 и наружной бурильной трубой до водоструйного насоса 6. Здесь прямой поток жидкости разделяется на две части: одна идет к забою, а вторая — в водоструйный насос, который за счет разрежения, возникающего в приемно-смесительной камере, вызывает приток жидкости от шарошечного долота 14, создавая обратную промывку.

Смешанный поток жидкости направляется от водоструйного насоса к переходнику 13, в котором через боковые отверстия она изливается в ствол скважины и, смешиваясь с прямым потоком, снова возвращается к водоструйному насосу и буровому наконечнику 14. От бурового наконечника жидкость движется к водоструйному насосу по внутреннему каналу утяжеленных бурильных труб 8 и внутренней трубе шламособорника 15 через гидроциклон 16. В шламособорнике и гидроциклоне промывочная жидкость очищается от разрушенной породы и поступает к водоструйному насосу. При поднятии бурового снаряда на поверхность для замены бурового наконечника гидроциклон 16 и шламособорник 15 очищают от разрушенной породы.

По сравнению с широко применяемой эрлифтной промывкой эжекторный способ создания обратной промывки имеет существенные преимущества:

более высокий к. п. д.;

промывку можно осуществлять при низком динамическом уровне жидкости в скважине (280—300 м);

не требуется дополнительная установка компрессоров высокого давления;

при работе водоструйного насоса под определенным напором

поток подсасываемой жидкости движется без пульсаций, что не дает возможности выпадать из него частичкам разрушенной породы в местах сужений трубопровода и налипать на стенки труб, что имеет место при эрлифтной промывке;

скорость всасываемого потока, создаваемого водоструйным насосом, в 7—8 раз выше, чем скорость потока с забоя скважины при прямой промывке;

применение водоструйного насоса позволяет быстро переходить с обратной промывки на прямую;

водоструйные насосы обладают простотой конструкции и большой надежностью в работе.

К существенным недостаткам этого вида промывки следует отнести необходимость применения двойных бурильных труб и др.

Снаряд ЭСБ-168/245 внедрен на объектах Новомосковского и Белгородского ССМУ треста Союзшахтоосушение. Экономический эффект от внедрения этих снарядов составил около 125 тыс. руб. в год.

Снаряд ЭСБ-168/245 может применяться не только для бурения, но и для откачки воды из скважин и шахтных стволов.

Механическая скорость бурения с применением водоструйных насосов выше, чем при бурении с прямой промывкой вследствие лучшей очистки забоя от разрушенной породы.

§ 4. СОВМЕЩЕННАЯ ПРОМЫВКА

При совмещенном способе промывки одновременно осуществляются прямая и обратная промывки.

Совмещенный способ промывки имеет две разновидности: 1) через бурильную колонну; 2) через боковую скважину.

Совмещенная промывка и продувка через бурильную колонну

На рис. 60 изображена схема совмещенной промывки через бурильную колонну. При этом способе применяют двойную колонну труб [30].

Промывочная жидкость насосом 1 отсасывается по всасывающему шлангу 2 из отстойного резервуара 3 и нагнетается по нагнетательному шлангу 9 в двойную бурильную колонну 5, где она движется вниз к разрушающему буровому инструменту 4 по кольцевому зазору между внутренней и наружной трубами. Омыв буровой инструмент, она вместе с разбуренной породой засасывается во внутреннюю трубу бурильной колонны с помощью эрлифта и, поднявшись до пульпоотводящего тройника 10, по трубопроводу 8 поступает сначала на очистные сооружения, а затем в отстойный резервуар 3.

Для отсоса пульпы с забоя внутри двойной колонны спускается воздухопроводная колонна труб, по которой подается сжатый воздух от компрессорных установок через сальник-вертлюг к сме-

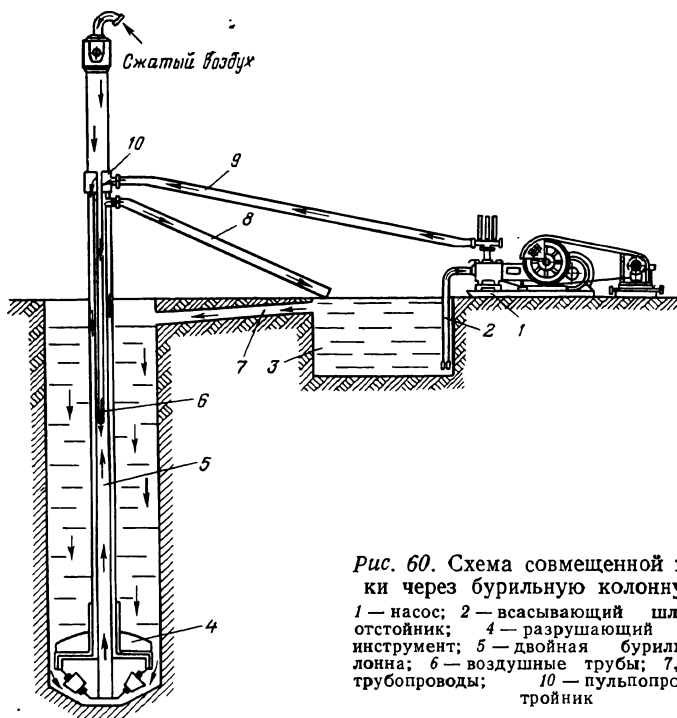


Рис. 60. Схема совмещенной промывки через бурильную колонну [30]:

1 — насос; 2 — всасывающий шланг; 3 — отстойник; 4 — разрушающий буровой инструмент; 5 — двойная бурильная колонна; 6 — воздушные трубы; 7, 8, 9 — трубопроводы; 10 — пульпопроводящий тройник

сителю, погруженному под динамический уровень жидкости в стволе.

Совмещенную промывку можно осуществлять с воздушной эмульсией. Такой способ промывки применяют в США [30] при бурении стволов диаметром 2,4 м, глубиной до 600 м по увлажненным туфам.

Схема совмещенной промывки с воздушной эмульсией дана на рис. 61. Компрессор 1 подает 70 м³/мин с давлением 0,783 МПа через воздухоборник 2 нагнетает воздух в трубу 3. Одновременно насос 4 нагнетает 6—7 м³ воды в трубу 3. Увлажненный воздух через вертлюг 5 поступает в кольцевой зазор между наружной 8 и внутренней 9 трубами и подается в бур 11 с утяжелителем 10, который играет роль пакера. Через восемь сопел 12 в буре воздух выходит в призабойное пространство. Затем увлажненный воздух вместе с разбуренной породой засасывается во внутреннюю колонну 9 диаметрами 152—178 мм. Нижний конец внутренней колонны плотно вставляется в специальное гнездо в буре. Из колонны 9 по трубопроводу 13 воздушно-породная смесь поступает в сепаратор 14, где порода отделяется от воздуха и транспортируется в отвал.

Подъем воздуха с породой по ставу 9 происходит вследствие разрежения (300 мм рт. ст.), которое создается воздухоудвкой 16

можно применять при бурении в устойчивых породах с незначительными притоками воды, когда снижение давления воздуха не вызывает обрушения породы и заполнения ствола. Она может быть эффективна при катастрофических уходах промывочной жидкости и исключительно холодном климате. Для выноса породы рекомендуется скорость восходящего потока около 15 м/с.

Совмещенная промывка через боковую скважину

Совмещенная промывка через боковую скважину (рис. 62) применяется при бурении агрегатами РТБ-3,6 и установкой УРТБ-6,2.

Насосы подают промывочную жидкость через вертлюг в буровую колонну. Из колонны жидкость поступает в турбобуры, приводит их валы во вращение и выходит через сопла долот в призабойную зону. Омыв забой, промывочная жидкость вместе с разбуренной породой движется вниз по ранее пробуренной (с прямой промывкой) пилот-скважине и по боковой скважине эрлифтом поднимается на поверхность и поступает в систему очистки.

Таким образом, технология бурения стволов диаметром 3,6—6,2 м реактивно-турбинным способом предусматривает очистку забоя от выбуренной породы пульпо-эрлифтом через дополнительную скважину, которая соединена с пилот-скважиной основного ствола.

Дополнительная скважина состоит из двух участков: вертикального (диаметрами 760—1020 мм), который бурится агрегатом РТБ до отметки на 40—50 м выше проектной отметки основного ствола, и наклонного (диаметром 295 мм), который бурится специальной отклоняющей компоновкой.

Применение агрегата РТБ для бурения первого участка скважины вызвано необходимостью свести к минимуму операции по контролю за направлением бурения, так как известно, что скважины, пройденные агрегатами РТБ диаметром 760 мм и более, практически вертикальны.

Производственный эксперимент по осуществлению сбояки двух скважин диамет-

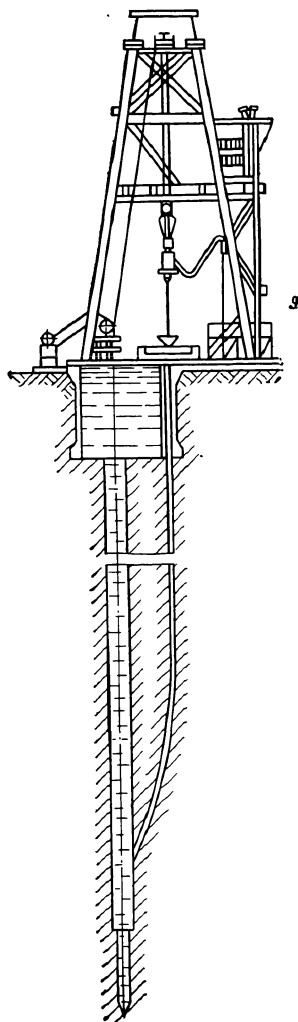


Рис. 62. Схема совмещенной промывки через боковую скважину

ром 1020 мм был проведен на шахте «3-5 Сокологоровка» треста Первомайскуголь.

Сбойка двух скважин была начата с отметки 360 м, но закончилась неудачно. Скважина была зацементирована до отметки 311 м и с этой глубины вновь перебурена турбобуром Т12МЗК-8 с долотом диаметром 296 мм и длиной 2,65 м. При этом применяли кривой переходник с углом отклонения 4° и утяжеленную бурильную трубу длиной 2,4 м.

За утяжеленной бурильной трубой располагали немагнитную бурильную трубу длиной 7,4 м и три бурильные трубы диаметром 146 мм, общей длиной 42,5 м. Остальная часть бурильной колонны состояла из труб диаметром 168 мм.

Бурение вели при давлении 500—600 Н/см² и осевой нагрузке 30—40 кН. В процессе бурения измеряли азимутальные и зенитные углы через каждый метр и дважды в каждой точке.

Компоновку ориентировали следующим образом. На указанной глубине аппаратом Шаньгина — Кулигина определили положение плоскости отклонения компоновки, которое зафиксировано меткой на роторе. Затем инструмент подняли на 8,6 м с тем, чтобы компоновка находилась в практически вертикальной части направленной скважины, после чего отклонитель был установлен в нужном азимуте.

Это позволило соединить вспомогательную скважину с ранее пробуренной пилот-скважиной основного ствола. Далее начали расширение пилот-скважины до нужного диаметра с очисткой забоя от выбуренной породы эрлифтом через вспомогательную скважину.

Опыт работы на буровой шахты «3-5 Сокологоровка» практически доказал возможность осуществления сбойки двух вертикальных скважин при помощи обычных приемов и средств турбинного наклонно-направленного бурения.

Применение вспомогательной (боковой) скважины для создания совмещенной промывки решает проблему хорошей очистки забоя бурящегося ствола от разрушенной породы за счет высокой скорости подъема промывочной жидкости. Однако этот вид промывки значительно удорожает стоимость шахтного ствола, а для скважин диаметром менее 3 м его применять нецелесообразно. Кроме того, возникает необходимость выполнять сложные работы по сбойке дополнительной скважины с пилот-скважиной. Эти недостатки не позволяют широко применять этот вид промывки.

§ 5. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ ПРОМЫВКА

Периодическую обратную промывку начали применять при бурении агрегатами РТБ диаметром 2,6—3,6 м с целью лучшей очистки забоев стволов и скважин большого диаметра от разбуренной породы. Ее применение было вызвано тем, что средние скорости восходящего потока, равные 0,2—0,5 м/с при прямой промывке, обычно применявшейся при бурении агрегатами РТБ-2,08, недостаточны для выноса на поверхность крупных кусков породы. При

прямой промывке происходит многократное переизмельчение разбуренной породы. Это подтверждается высокой механической скоростью бурения в начале рейса и снижением ее в 5—10 раз к середине рейса.

При бурении установками РТБ-6,2 скорость восходящего потока при прямой промывке составляет 0,01—0,02 м/с, поэтому, что-

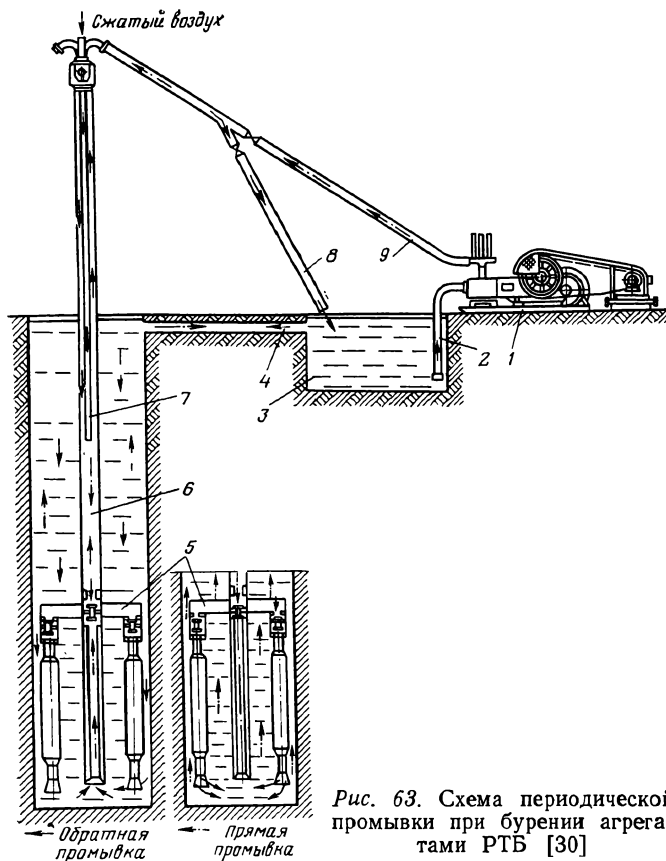


Рис. 63. Схема периодической промывки при бурении агрегатами РТБ [30]

бы улучшить очистку забоев, применяют периодическую промывку.

На рис. 63 показана схема периодической промывки. Сущность этого способа состоит в следующем [30]. В течение 2—3 ч бурение производят с прямой промывкой. С этой целью из отстойника 3 через всасывающий шланг 2 насосом 1 подают промывочную жидкость по трубопроводу 9 через сальник-вертлюг в колонну буровых труб 6, а из нее — в агрегат РТБ и буровой инструмент 5. Омыв забой, она возвращается через скважину и систему очистки в отстойник 3.

Затем бурение останавливают, включают эрлифт и осуществля-

ют циркуляцию по схеме всасывающей обратной промывки. Для этого сжатый воздух от компрессорных установок через сальник-вертлюг подает по воздухопроводным трубам 7 к смесителю, который отсасывает пульпу с забоя по бурильным трубам 6 и по трубам 9 и 8 подает ее к очистным сооружениям, а затем в отстойник 3, из которого она по самотечному каналу 4 поступает в устье скважины или ствола.

При эрлифтной обратной промывке с забоя выносятся более крупные частицы разбуренной породы, чем при прямой.

Через 1—1,5 ч эрлифтную промывку останавливают и возобновляют бурение с прямой промывкой.

Периодическую обратную промывку осуществляют следующим образом. В центре агрегата РТБ устанавливают пульпоприемную трубу, являющуюся продолжением колонны бурильных труб и оканчивающуюся внизу, непосредственно над забоем, специальной насадкой. В верхней части внутри бурильной колонны вмонтированы воздушные трубы, соединенные с компрессорной установкой. В разводящих каналах забойного агрегата и нижней части бурильной колонны встроена система клапанов одностороннего действия. При бурении поток промывочной жидкости, нагнетаемый насосами, закрывает клапан пульпоприемной трубы агрегата и свободно проходит через клапан к турбобурам.

Для того чтобы периодически извлекать с забоя накопившийся шлам, нагнетание рабочей жидкости прекращается и запускаются компрессоры. При этом клапан пульпоприемной трубы агрегата открывается, и через него начинается движение жидкости с забоя. Подсос жидкости через турбобуры предотвращается закрытием клапанов в разводящих каналах агрегата.

Для того чтобы очистить забой, одной работы эрлифта недостаточно, нужно обеспечить принудительную подачу разбуренной породы с периферии забоя в зону всасывания. Для этого используется гидравлическое явление, возникающее при вращении столба жидкости, заключенного в цилиндрическом сосуде (скважине). При этом внутри жидкости под влиянием центробежных сил образуется поле давлений с градиентом, убывающим от периферии к оси вращения. Придонный слой разбуренной породы находится под влиянием того же градиента давлений, поэтому твердые частицы будут двигаться вместе с промывочной жидкостью от периферии к центру ствола.

При вращении агрегата РТБ, приподнятого над забоем, возникает вращение призабойного ствола жидкости, находящегося под поднятым РТБ. При этом куски породы, стремящиеся к оси вращения, образуют конус с восходящей вершиной, лежащей на этой оси (рис. 64).

Если всасывающее отверстие пульпоподъемника поместить непосредственно у вершины конуса, то куски породы будут выноситься на поверхность. По мере выноса породы высота конуса уменьшается, поэтому нужно постепенно опускать к забою вращаемый ротором буровой агрегат, сохраняя необходимое расстоя-

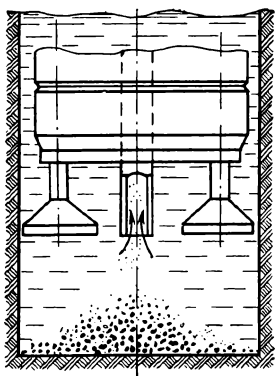


Рис. 64. Схема образования конуса породы при очистке забоя с помощью вращающегося эрлифта

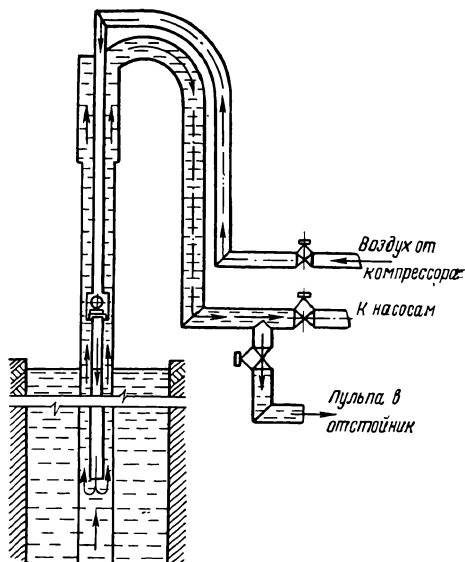


Рис. 65. Схема обвязки насосов и компрессорной станции при работе периодического эрлифта

ние между всасывающим отверстием агрегата и вершиной шламового конуса. Давление в столбе жидкости возрастает по мере удаления от оси вращения или увеличения угловой скорости.

Условия начала движения покоящихся на забое кусков породы не зависят от их размеров.

Существует оптимальное соотношение между частотой вращения агрегата РТБ, размером шлама и подачей эрлифта, обеспечивающее наиболее интенсивный вынос шлама при периодической очистке забоя. Определение необходимых частот вращения бурового агрегата РТБ практически должно осуществляться по интенсивности выноса разбуренной породы при работе системы периодического эрлифта.

На рис. 65 показана схема обвязки насосов и компрессорной станции при работе периодического эрлифта. Из рис. 65 видно, что при работе периодического эрлифта насосная станция отключается, включаются компрессорная станция и ротор для вращения бурового снаряда, а пульпа, поднимающаяся с забоя на поверхность, направляется через систему очистных устройств к отстойнику. Из отстойника очищенная жидкость снова возвращается в ствол.

Буровая колонна для периодического эрлифта состоит из вертлюга с проходным сечением 120 мм, рабочей квадратной штанги и бурильных труб, внутри которых располагаются воздушные трубы диаметром 48 мм с шаровым клапаном. Воздух к вертлюгу подается через дополнительный стояк и резиновый шланг высокого давления диаметром 65 мм. Шаровой клапан, установленный

на воздушной линии, препятствует поступлению промывочной жидкости в резиновый шланг.

Используя бурильные трубы в качестве пульпопроводов в сочетании с вращением этих труб и постепенной подачей их на забой с помощью пульпоэрлифта, можно полностью очищать забой от породы. Перед очисткой забоя от разрушенной породы необходимо приподнимать агрегат РТБ над забоем на высоту не менее 1,5—2 м и вращать ротором с такой частотой, которая позволяет лучше очищать забой.

Промышленные испытания РТБ-2,08 с периодической очисткой забоя были проведены на предприятиях Донбасса.

В бурильные трубы диаметром 168 мм через сальник-вертлюг «Бакинец» и рабочую квадратную штангу была спущена колонна воздушных труб наружным диаметром 60 мм с обратным клапаном, размещенным внутри рабочей трубы. Для увеличения кольцевого зазора ствол вертлюга был расточен до внутреннего диаметра 120 мм, а наружный диаметр воздушной трубы, размещенной внутри ствола вертлюга, уменьшен до 50 мм.

В качестве пульпоприемной трубы был использован корпус турбобура Т12МЗ-9РТ, смонтированный в агрегате РТБ вместо среднего неработающего турбобура, с установкой пульпоприемника на расстоянии 50 мм от забоя. В пульпоприемной трубе на фланцах смонтирован клапан прямого действия, перекрывающий доступ промывочной жидкости в пульпоприемную трубу при работе турбобуров в процессе бурения.

Над каждым турбобуром в переходниках траверсы установлены на резьбе обратные тарельчатые клапаны, предотвращающие поступление промывочной жидкости в турбобуры при работе эрлифта.

Питание системы эрлифта воздухом осуществлялось двумя компрессорными установками ВУЗ/8В, входящими в комплект бурильной установки БУ-75Бр и имеющими производительность 3 м³/мин каждая. Кроме того, была использована передвижная компрессорная установка ЗИФ-БКС-6 производительностью 6 м³/мин. Давление всех установок 0,8 МПа. Пульпа в процессе работы эрлифта отводилась по нагнетательной линии в мерную емкость. Промывочная жидкость в шахтный ствол подавалась дополнительным насосом.

Для того чтобы одновременно с работой эрлифта осуществить вращение агрегата РТБ над забоем, использовали приставку буровой установки МПД с двумя парами цепных передач 17:51 и 17:15, что обеспечивало вращение РТБ в первом случае с частотой 4 и 8 об/мин, а во втором — соответственно 2,5; 6; 8 и 20 об/мин.

Воздушная нагнетательная линия была смонтирована из 50,8-мм компрессорных труб с муфтовыми соединениями. Глубина погружения воздушных труб эрлифта 60—70 м.

Суммарная производительность компрессоров 12 м³/мин. Давление на выкиде компрессоров не превышало 0,6—0,75 МПа. При глубине бурения 210 м подача эрлифта составляла 6—10 л/с.

Перед каждым спуском РТБ-2,08 со смонтированным в нем устройством для периодической очистки забоя производили подачу жидкости в турбобуры для проверки работы системы клапанов. Затем агрегат спускали в ствол и на расстоянии 3—4 м выше забоя приводили во вращение ротором; при этом начиналась подача воздуха в воздушные трубы эрлифта. Частота вращения изменялась от 2,5 до 20 об/мин.

При работе эрлифта с вращением агрегата РТБ систематически отбирали пробы пульпы для определения содержания шлама в единице объема (интенсивность выноса); на этих же пробах проводили ситовые анализы шлама.

Интенсивность выноса шлама эрлифтом при периодической очистке забоя и его гранулометрический состав сопоставляли с интенсивностью выноса и гранулометрическим составом шлама при прямой промывке. В табл. 37 приведены данные, характеризую-

Таблица 37

Шachtный ствол	Схема промывки	Интервал бурения, м	Объем проб раствора, л	Масса твердой фракции в пробах, отобранных из раствора, г		Количество шлама, выносимого с забоя, г/л
				входящего в ствол	выходящего из ствола или эрлифта	
Ствол 1 (Донбасс)	Прямая Периодическая при 8 об/мин	193,6—258,8	3	97	161	21,3
		193,6—210,0	3	98	415	105,7
Ствол 3 (Донбасс)	Прямая Периодическая при 20 об/мин	390—410	3	125	173	16,0
		400—426	3	120	723	201
Ствол 2 (Караганда)	Прямая	73,3	5	214	321	21,4

щие интенсивность выноса шлама и его содержание в пробах, отобранных при прямой и периодической промывках.

При периодической очистке забоя наблюдали за работой компрессоров и подачей эрлифта.

Агрегат с эрлифтным устройством проработал в интервале бурения 193,6—258,8 м около 250 ч на шахте им. Менжинского и 70 ч на шахте 3, где осуществляли бурение с периодической промывкой в интервале 390—410 м.

Из приведенных данных можно сделать следующие выводы:

способ периодической очистки забоя при помощи эрлифта обеспечивает вынос на поверхность более крупного шлама;

интенсивность выноса шлама при периодической очистке забоя во много раз выше;

при помощи эрлифта без его вращения над забоем выносятся на поверхность шлам с такими же размерами частиц, что и при прямой промывке;

при вращении РТБ-2,08 над забоем с частотой 20 об/мин шлам выносятся на поверхность с большей интенсивностью и с большими размерами частиц, чем при вращении агрегата с частотой 8 об/мин.

Промышленные испытания подтвердили эффективность способа периодической очистки забоя от шлама.

Практикой установлено, что при бурении агрегатами РТБ-10-20 достаточно осуществлять очистку забоя лишь периодически перед каждым рейсом после смены комплекта долот. Периодическая очистка забоя от разрушенной породы перед каждым рейсом сводит к минимуму дополнительную работу долот по переизмельчению отделенных от массива кусков породы, обеспечивая повышение эффективности бурения шахтных стволов.

Все реактивно-турбинные агрегаты для бурения шахтных стволов диаметром 1730 мм и более выпускаются в исполнении, обеспечивающем применение способа периодической очистки забоя. Основным недостатком этой системы является дополнительная затрата времени на очистку забоя от разрушенной породы и энергии для холостого вращения бура.

§ 6. ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ

Эффективность бурения шахтных стволов с обратной промывкой зависит от физико-механических свойств горных пород, схем бурения, конструкций оборудования и бурового инструмента и технологических факторов режима бурения (осевой нагрузки на забой, частоты вращения бура, расхода и качества промывочной жидкости, расхода и давления сжатого воздуха).

При бурении вертикальных горных выработок всеми буровыми установками частота вращения бура не превышает 35 об/мин [26]. Это объясняется недостаточной мощностью привода для вращения бура, вибрацией буровой колонны и другими факторами.

Осевая нагрузка на забой обычно не превышает 300 кН, а удельная нагрузка, приходящаяся на 1 см² разрушаемого забоя, составляет от 0,2 до 2,5 кН.

В табл. 38 указаны режимные факторы и скорости бурения стволов некоторыми шахтобурильными установками.

Расход промывочной жидкости при всасывающей обратной промывке с помощью эрлифта зависит от многих факторов. Для нормальной работы эрлифта диаметр бурильной колонны должен быть не менее 250 мм. Чем больше диаметр бурильной колонны, тем меньше гидравлические сопротивления и больше подача эрлифта.

Буровая установка	Фаза бурения, м	Масса бура, т	Осевая нагрузка		Частота вращения, об/мин	Механическая скорость бурения, м/ч	
			на забой, кН	контактная, Н/см²		средняя	максимальная
УЗТМ-7,5	3,0	86,7	35—200	400—2500	15—35	0,13	0,3
	3,0—5,75	90	30—200	200—1600	12—18	0,12	0,22
	5,75—7,5	116	20—80	100—900	4—10	0,09	0,19
УЗТМ-8,75	3,0	120	100—200	400—2500	15—30	0,26	0,4
	3,0—5,75	90	100—300	200—1600	10—20	0,26	0,45
	5,75—7,5*	110	100—300	800—2000	6—8	0,43	1,2
РТБ	2,08	40	40—180	400—2500	6—12	0,5	1,4

* Бур оснащен шарошками ЦНИИПодземмаша.

Воздушные трубы применяют диаметром 50—100 мм и длиной 6—8 м каждая.

Подача эрлифта зависит от удельного расхода сжатого воздуха, затрачиваемого на поднятие к месту излива 1 м³ промывочной жидкости с забоя, и определяется по формуле

$$Q_э = \frac{Q_c}{q},$$

где $Q_э$ — подача эрлифта, м³/мин; Q_c — необходимый расход сжатого воздуха, м³/мин; q — удельный расход сжатого воздуха на 1 м³ подачи эрлифта, м³/м³.

При бурении шахтных стволов в качестве промывочной жидкости применяют глинистый раствор или техническую воду.

Особенностями промывки являются большие объемы циркулирующей жидкости и значительное обогащение жидкости разбуренной горной породой. Объемы циркулирующей жидкости при бурении агрегатами РТБ изменяются от 600 до 3000 м³, а при бурении установками УЗТМ-8,75 и УЗТМ-7,5 достигают 20 000 м³ и больше [26].

При бурении по глинистым и песчанистым сланцам около 50 % разбуренной породы в виде тонкой шламовой фракции переходит в промывочную жидкость. При бурении по глинам и мергелям содержание мелких фракций шлама менее 0,1 мм составляет 70—75 %. Это объясняется тем, что бурение ведется на режиме истирания (установками УЗТМ), а также повторным дроблением разрушенной породы при неэффективной очистке забоя и малой скорости восходящего потока (при прямой промывке). Переход тон-

ких фракций разбуренной породы в промывочную жидкость непрерывно изменяет ее параметры: увеличивает плотность и вязкость, снижает стабильность, статическое напряжение сдвига и отстой.

Шахтные стволы, как правило, бурят с использованием естественной промывочной жидкости (воды), обработанной химическими реагентами. Тип химического реагента и объем добавки подбирают в лаборатории в зависимости от параметров промывочной жидкости и условий бурения.

В табл. 39 приведены параметры промывочной жидкости, кото-

Таблица 39

Порода	Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Содержание песка, %	Суточный отстой, %	Водоотдача за 30 мин, см ³
Песок, суглинок	1,2—1,3	20—22	1—3	0	8—10
Глина	1,2—1,25	22—28	1—3	0—0,5*	3—10
Песчаные и глинистые сланцы, алевролит, аргиллит	1,2—1,3	20—25	1—2	0,5—1,0	12—20
Мел, мергель	1,25—1,3	19—22	1—3	0,5—2,0	15—20

рые задают в проектах на бурение шахтных стволов в зависимости от геологического разреза горных пород и способа бурения.

Применяют следующую технологию при бурении шахтных стволов.

Перед началом бурения устье ствола и отстойники заполняют качественной промывочной жидкостью с добавлением глины. В процессе бурения параметры промывочной жидкости изменяют за счет разбуренной породы. Параметры доводят до заданных проектом величин химическими реагентами. Бурение агрегатами РТБ в крепких и устойчивых породах производят на воде. Для обработки промывочной жидкости применяют кальцинированную и каустическую соду, сульфитспиртовую барду, угле- и торфошлочно-ую вытяжку, жидкое стекло, КМЗ и др.

Бурят при осевой нагрузке на забой 30—70 кН в мягких породах и 100—150 кН в крепких. Частота вращения долот обычно 495—725 об/мин, а всего агрегата 6—12 об/мин.

Разбуренная порода поднимается на земную поверхность промывочной жидкостью, которая циркулирует или по схеме прямой, или по схеме периодической промывки. Подача насоса 100—130 л/с.

Промывочная жидкость поступает из скважины в резервуары вместимостью до 15—18 тыс. м³ в зависимости от диаметра и глубины бурения. Отстойные резервуары служат накопителями шла-

ма, который транспортируется из забоя восходящим потоком промывочной жидкости.

При использовании в качестве промывочной жидкости глинистого раствора применяется механическая очистка его от породного шлама. Блок грубой очистки оборудован виброситами или сито-конвейерами в количестве трех-четырёх штук. Блок тонкой очистки монтируется из гидроциклонов. Глинистый раствор в блоки подается шламовыми насосами ШН-270.

На период крепления стволов и скважин на промплощадке монтируется цементно-растворный блок, включающий растворомешалку, загрузочное устройство и склад сыпучих материалов. Крепление стволов осуществляют обсадными трубами после доведения шахтного ствола до проектной глубины, а также после окончания бурения под кондуктор или промежуточную колонну.

Конструкция стволов и скважин может быть простой и сложной. Простая конструкция включает кондуктор глубиной 50—120 м и основную колонну до проектной глубины. Она применяется в районах с устойчивыми породами. Сложная конструкция кроме кондуктора и основной колонны имеет одну или несколько промежуточных колонн различной глубины.

Диаметр обсадных труб берется на 150—600 мм меньше диаметра бурения. Толщина труб из листовой стали 10—20 мм. Чаще других применяются трубы толщиной 16 мм. В кольцевой зазор между обсадной колонной и стенками ствола по специальному ставу нагнетается тампонажный раствор. Промывочная жидкость из внутренней полости труб (после окончания крепления) откачивается с помощью желонки или погружных насосов.

При бурении установками УКБ-3,6 с выходом керна соблюдается следующая технология бурения.

В собранном виде колонковый бур опускают на забой, включают промывку и приступают к бурению. Бурят при осевой нагрузке на забой 300—600 кН и частоте вращения бура 10—20 об/мин. После того как керн высотой 5 м будет обурен, его подрезают. Для подрезания керна бур поднимают на 10 см, прекращают циркуляцию промывочной жидкости и в бурильную колонну забрасывают шариковый клапан. Клапан перекрывает отверстие для промывки и открывает трубопровод, идущий к гидродомкратам. Затем включают промывку и при минимальном давлении жидкости в гидродомкратах бура (до 1 МПа) и частоте вращения подрезают керн. При этом подрезные рычаги выводятся гидродомкратами через вертикальные валы из кольцевого пространства между наружной и внутренней трубами и производят подрезку керна так, что остается неподрезанной шейка керна диаметром 780 мм, а при подрезке керна канатом — диаметром 1790 мм. Керн от забоя отрывается гидравлическими домкратами и лебедкой буровой установки.

После подъема бура устье ствола закрывают раздвижными платформами, под бур устанавливают тележку для транспортировки керна, открывают верхний переходник, переворачивают бур

на 180° и выгружают керн из бура. С помощью тележки керн транспортируют в отвал. Перед разгрузкой керна из шламовой трубы насосом удаляют осевший шлам. После осмотра бура и замены коронки или резцов на коронке бур опускают в скважину для дальнейшего бурения.

Бурение скважин агрегатами ТМ-1300 и ТМ-2,3 осуществляют в такой технологической последовательности. При включении погружного электродвигателя стабилизатор под воздействием реактивного момента квадратной штанги вклинивается в породу и закрепляет в неподвижном состоянии верхнюю часть агрегата. Буровой цилиндр начинает вращаться, при этом резцы на коронке, внедряясь в породу, разрушают ее и образуют круговую щель, обуривая керн. Затем включают центробежный промывочный насос; при этом промывочная жидкость засасывается по трубе, верхний конец которой находится выше агрегата на 2—3 м. Засасываемая жидкость по трубам нагнетается в нижнюю часть бура и, омывая резцы и забой, с разрушенной породой поднимается по кольцевому зазору между буром и стенками скважины вверх. При выходе жидкости из кольцевого зазора скорость потока промывочной жидкости резко падает, и из нее выпадают в шламоуловитель крупные частицы породы, а она засасывается для повторной циркуляции. Так осуществляется прямая промывка. При прямой промывке циркуляция промывочной жидкости производится только в нижней части скважины, несколько больше высоты агрегата.

После обуривания керна на высоту керноприемной трубы переключением двигателя буру сообщается обратное вращение; при этом производится подрезка керна канатами с резцами специальной конструкции. Подрезанный керн вместе с агрегатом ТМ поднимается на поверхность. Для удаления керна из керноприемной трубы буровой цилиндр отсоединяют от приводной части и переворачивают резцовым концом вверх. После разгрузки агрегат соединяют и опускают в скважину для дальнейшего бурения.

По такой схеме работают буровые агрегаты ТМ-1300 и частично ТМ-2,3, предназначенные для диаметра бурения 1300 и 2400 мм. На агрегатах ТМ-2,3 и ТМ-6,5 предусмотрена также эрлифтная промывка, которая осуществляется по специальному эрлифтному ставу, опускаемому в шахтные стволы с поверхности.

§ 7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Началу бурения шахтного ствола предшествует подготовительный период. Продолжительность подготовительного периода, предназначенного для строительства зданий и сооружений, зависит от многих факторов: от освоенности строительной площадки, типа установки, интенсивности проведения работ и др.

В нормальных условиях при своевременной поставке оборудования время подготовительных работ составляет [26]: для установок УЗТМ 11—14 мес., для установок УКБ 8—12 мес., для агрегатов РТБ 3—6 мес. При бурении второго (вспомогательного)

ствола на той же площадке на монтаж и демонтаж вышки с промышленным оборудованием затрачивается 1,5—2,5 мес.

Обычно время чистого бурения стволов составляет 20—30 % от их общего времени бурения. При бурении стволов с хорошей организацией работ оно может быть увеличено до 50 %, а с плохой — уменьшено до 10 %.

Время вспомогательных работ составляет 50 % и более от общего времени бурения стволов. Много непроизводительного времени уходит на вспомогательные работы, которые должны проводиться параллельно с основными технологическими операциями.

Значительное время задалживается на выполнение работ, которых можно избежать: на ликвидацию аварий, очистку ранее пробуренных фаз, проработку и промывку стволов, исправление кривизны. В отечественной практике кривизну стволов измеряют обычно через 50—100 м, что приводит иногда к большим искривлениям их. Следует измерять кривизну стволов через 10—15 м углубления [30]. Много времени уходит на простои из-за отсутствия электроэнергии, оборудования, материалов, рабочей силы. Простои возникают также по климатическим причинам.

Установкой УЗТМ-6,2 в Львовско-Волынском бассейне было пробурено четыре шахтных ствола шахт 5 и 9: два клетьевых и два скиповых. Диаметр стволов составлял «в свету» 5 м, а «вчерне» 6,2 м. Для крепления стволов применяли чугунные тубинги. Крепь возводили в клетьевом стволе глубиной 224 м шахты 5 погружным способом, а в стволах глубиной 330, 335 и 358,5 м — секционными.

Геологический разрез района слагают четвертичные меловые и каменноугольные породы с коэффициентом крепости от 0,9 до 7,7. Четвертичные отложения представлены суглинками с прослоями песков пльвинного характера мощностью от 10 м (на шахте 5) до 30 м (на шахте 9). Меловые отложения сложены мергелем и мелом и имеют мощность на шахте 5 до 305 м, а на шахте 9 — до 274 м. Каменноугольные отложения представлены чередующимися слоями песчаника, песчанистых, глинистых и углистых сланцев. Одним из основных показателей, по которому можно судить об эффективности работы буровой установки, является скорость бурения.

Эффективность работы буровой установки УЗТМ-6,2 на шахтах 5 и 9 по общей скорости бурения и затратам времени по видам работ отражена в табл. 40. Общая скорость бурения зависит не только от эффективности разрушения пород рабочим органом, но и от других факторов: механической скорости, количества простоев и аварий, организации работ. Из общей продолжительности простоев и аварий по всем стволам простои из-за отсутствия электроэнергии и запасных частей составили 29,1 %, ловильные работы — 15,9 %, из-за дефектов оборудования — 6,7 %.

В мергельно-меловых породах, т. е. в тех условиях, для которых предназначена установка УЗТМ-6,2, общая скорость бурения на скиповом стволе шахты 9 составила 84 м/мес. Опыт показывает,

Основные показатели	Ствол шахты 5		Ствол шахты 9	
	клетевой	скиповой	клетевой	скиповой
Общая скорость бурения в меловых породах, м/сут:				
передовой скважины диаметром 1,2 м	7,72	14,7	17,9	17,9
расширение до диаметра 6,2 м	1,56	1,58	1,91	3,38
всего ствола	1,23	1,41	1,77	2,80
Общая скорость бурения в каменноугольных породах, м/сут:				
передовой скважины диаметром 1,2 м	—	3,14	6,20	5,15
расширение до диаметра 6,2 м	—	0,16	0,24	0,45
всего ствола	—	0,14	0,14	0,41
Затраты времени, сут:				
чистое бурение	46,5	72,0	81,0	111,0
спуско-подъемные операции	24,7	35,8	24,3	35,5
простои и аварии	63,6	58,5	109,0	23,4
прочие работы	28,3	155,0	93,7	59,6
Суммарные затраты времени, сут	163,1	321,3	308,0	230,5

что эта скорость не предельная и может быть доведена до 100—110 м/мес.

Основным показателем бурения, служащим для оценки разрушения горных пород, является механическая скорость бурения.

В табл. 41 отражены факторы режима и механическая скорость бурения для установки УЗТМ-6,2 по меловой и каменноугольной толщам пород.

Из табл. 41 видно, что бурение пилот-скважины диаметром 1,2 м велось при нагрузках на забой 100—160 кН, а расширение — от 100 до 350 кН. Эти нагрузки крайне малы для разрушения пород шарошечным рабочим органом. Из опыта применения на карьерах станков СБШ-250 МН и СБШ-320, предназначенных для бурения взрывных скважин диаметрами 250 и 320 мм, известно, что для разрушения пород с коэффициентом крепости по М. М. Протодьяконову 8—16 применяются нагрузки от 15 до 500 кН. При этом, чем выше нагрузки на забой, тем выше скорость бурения.

Следовательно, для того чтобы эффективно бурить породы с коэффициентом крепости 6—8 и более установками УЗТМ, необходимо разработать специальный буровой инструмент, позволяющий создавать высокие нагрузки на забой.

Некоторая модернизация бурового инструмента в этом направлении была проделана на установках УЗТМ-7,5 и УЗТМ-8,75.

Анализ результатов бурения установками УЗТМ-7,5 показал следующее [30]:

Таблица 41

Вид буровых работ	Номер шахты	Проходка, м		Осевая нагрузка на забой, кН		Контактное давление* на породу, Н/см²		Средняя механическая скорость бурения, м/ч	
		клетевой	скиповой	клетевой	скиповой	клетевой	скиповой	клетевой	скиповой
Меловые породы									
Бурение пилот-скважины	5	238	292	100—120	100—120	3200—4000	3200—4000	1,04	1,54
d=1,2 м	9	274	272	10—30	10—60	320—950	320—1900	0,97	1,13
Расширение ствола до	5	234**	292	160—250	200—300	900—1300	1150—1800	0,7	0,36
		200,6		200—300		1000—1500		0,37	
d=6,2 м	9	274	272	100—200	100—200	600—1150	600—1150	0,3	0,25
Каменноугольные породы									
Бурение пилот-скважины	5	—	47	—	100—120	—	3200—4000	—	0,21
d=1,2 м	9	41,4	62,0	120—1600	120—150	4000—5100	4000—5000	0,31	0,32
Расширение ствола до	5	—	16,5	—	200—350	—	1150—2100	—	0,045
		34,0		55,5		250—300		100—200	

* Контактное давление подсчитано исходя из ширины площадки затупления зуба, равной 0,5 см.

** В числителе — показатели расширения диаметра ствола от 1,2 до 3,6 м, в знаменателе — от 3,6 до 6,2 м

Шахты	Ствол	Проходка, м	Затраты времени		Время технологически необходимых операций, %					Скорость бурения		Производительность на одного рабочего, м³/выход	
			Подготовительный период, мес	Общее время бурения, сут	Чистое время	Спуско-подъемные операции	Измерения и исправления кривизны	Прочие работы	Всего	Время непроизводительных работ, %	техническая, м/мес		общая, м/мес

«Нововолынская 5»	Клетевой	204	13,5	167,0	28,4	14,6	5,7	13,3	62,0	38,0	57	39,6	0,93
	Скиповой	307	2,4	321,6	22,4	11,0	37,3	10,9	81,6	18,4	35	29,4	1,47
	Клетевой	310	11,0	308,3	26,3	7,9	19,0	11,4	64,6	35,4	47	30,7	1,85
	Скиповой	333	1,0	230,6	48,2	15,7	—	25,9	89,8	10,2	52,5	46,4	2,00

УЗТМ-6,2													
УЗТМ-7,5													

«Западно-Донбасская» 27/35-5»	Скиповой	247	23	103,3	28,5	14,9	3,5	23,9	70,8	29,2	10,3	7,5	—
-------------------------------	----------	-----	----	-------	------	------	-----	------	------	------	------	-----	---

Таблица 43

Шахта	Ствол	Проходка, м	Коэффициент крепости породы	Время, затраченное на проходку, мес					Скорость, м/мес		Производительность труда, м³/выход при бурении	Стоимость сооружения 1 м ствола, тыс. руб.
				Всего	Подготовительные работы	Бурение	Крепление	Тампонаж и откачка	Бурение	Сооружение готового ствола		
«Вертикальная»	1	430	4—12	15,0	8,0	3,0	3,0	1,0	143	61,5	0,51	0,87
«Саранская»	2	435	4—12	5,0	8,0	2,0	0,8	1,0	55	39,5	0,46	0,87
«Актинская»	1	220	4—6	8,8	5,0	2,0	1,0	1,0	110	57,8	1,36	0,96
	2	190	4—6	6,2	3,2	2,0	1,0	0,6	95	47,5	0,47	0,95
«Сокологорская»	2	518	4—14	11,7	6,0	3,0	1,0	1,0	104	60,3	0,53	1,03
	3	582	4—14	15,0	6,0	2,0	0,8	1,7	97	69,5	—	1,03
«Дуванная»	4	419	4—6	10,9	4,5	4,8	0,8	1,7	87,5	53,1	0,80	0,80
	4	422	4—6	9,0	3,1	4,8	0,8	1,0	103	66,0	3,24	0,79
«Кардонит»	Вертикальный	280	6	7,6	3,5	2,7	0,4	1,0	105	61,0	3,4	0,89
«Степан»	To же	532	6	16,0	3,5	9,3	1,2	2,0	57,5	41,0	3,4	1,10
	Вспомогательный	457	0,5—1	12,6	6,8	2,0	2,8	1,8	22,8	70,0	1,5	0,84

при бурении по мягким породам (мел, мергель) достигаются удовлетворительные скорости проходки 37—84 м/мес;

при бурении по песчаникам и сланцам с коэффициентом крепости 4—6 скорости бурения снижаются до 5—12 м/мес из-за недостаточного удельного давления зубьев шарошек на породу и крутящего момента, передаваемого буровой колонной;

технологические затраты на бурение и спуско-подъемные операции составили всего 42,2 % от общего времени, затраченного на бурение ствола. Остальное время занимали простои из-за ремонта оборудования, ликвидации аварий и по другим причинам;

скорость спуска крепи и тампонажа закрепленного пространства составляла 100—150 м/мес;

от 2 до 10 мес. израсходовано на откачку воды из ствола и повторный тампонаж закрепленного пространства с целью борьбы с водопритоками.

В табл. 42 отражены некоторые результаты бурения шахтных стволов установками УЗТМ-6,2 и УЗТМ-7,5.

Агрегатами РТБ ежегодно бурится от 16 до 20 скважин и стволов диаметром от 1 до 3,6 м, суммарной протяженностью 7,5—10 км и 35—40 скважин диаметром до 1 м, суммарной протяженностью 23—26 км [26].

В табл. 43 отражены результаты бурения агрегатами РТБ-2080, предназначенными для проходки стволов диаметром 2,08 м.

Почти по всем статьям (за исключением стоимости электроэнергии) результаты бурения установками РТБ оказались лучше, чем установками Щепотьева — Иванова.

На некоторых буровых участках треста Спецшахтобурение в Донбассе достигнуты проходки стволов установками РТБ, значительно превышающие средние скорости. Так, на шахте «Ждановская-Капитальная» вентиляционная скважина диаметром 2,3 м и глубиной 605 м была пробурена в породах с коэффициентом крепости 9—16 за 13,3 мес. Средняя скорость бурения скважины составила 68, а максимальная 117 м/мес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажутин А. Н., Шагин Г. П. Методика расчета эрлифта для бурения скважин с обратной промывкой. — Изв. вузов. Горный журнал, 1977, № 8, с. 18.
2. Бобров А. К. вопросу об обратной промывке при колонковом бурении. — Разведка и охрана недр, 1974, № 7, с. 8—9.
3. Булатов Ф. Ш. Бурение скважин большого диаметра методом обратной промывки станком УРБ-ЗАМ. М., Энергия, 1971.
4. Воздвиженский Б. И., Голубинцев О. Н., Новожилов А. А. Разведочное бурение. М., Недра, 1979.
5. Волков А. С., Волокитенков А. А. Бурение скважин с обратной циркуляцией промывочной жидкости. М., Недра, 1970.
6. Гордон З. Л., Мищенко С. А., Афанасьев В. П. Бурение стволов и скважин большого диаметра в Донском бассейне. Экспресс-информация. М., ЦНИИЭИуголь, 1978.
7. Гребенюк А. А., Моисеев Г. Г., Цибульский К. К. Двойной эжекторный колонковый снаряд для гидроударного бурения. — В кн.: Геология, разведка и методы изучения месторождений полезных ископаемых. Алма-Ата, 1970.

8. *Едигенов Е. А.* Бурение с гидротранспортом керна. — Разведка и охрана недр, 1978, № 11, с. 21.

9. *Зайонц О. Л., Набока В. И., Меломед Ю. А.* Новый снаряд для опробования скважин. — Разведка и охрана недр, 1976, № 2, с. 31—32.

10. *Илларионова Т. М., Шаньгин Л. П.* Техника и технология алмазного бурения с эрлифтной промывкой в осложненных условиях. Л., ОНТИ ВИТР, 1975.

11. *Кардыш В. Г., Кузьмин И. В., Мурзаков Б. В.* Бурение с выносом керна на поверхность. — Экспресс-информация. М., ОНТИ ВИЭМС, 1972, № 19, с. 278.

12. *Кардыш В. Г., Мурзаков Б. В., Окмянский А. С.* Новые данные по выбору и регулированию параметров режимов алмазного бурения. — Разведка и охрана недр, 1976, № 8, с. 29.

13. *Керимов В. А.* Бурение скважин с обратной промывкой для вертикального дренажа. — Разведка и охрана недр, 1971, № 8, с. 49—50.

14. *Коган Д. И.* Гидроударный реверсивно-эжекторный снаряд. — Разведка и охрана недр, 1980, № 7, с. 11.

15. *Кузьмин И. В., Кардыш В. Г., Мурзаков Б. В.* Бурение скважин с гидравлической транспортировкой керна. — Разведка и охрана недр, 1977, № 7, с. 12—13.

16. *Михин В. Н., Цехмистренко Н. М., Шадрин И. А.* Технические средства для бурения скважин с обратной призабойной циркуляцией промывочной жидкости. М., ВИЭМС, 1976.

17. *Николаенко А. Т.* Бурение шахтных стволов и скважин большого диаметра. Справочник инженера-шахтостроителя. Т. 2. М., Недра, 1972.

18. *Новожилов А. А., Рыхлов С. Н.* Опыт бурения скважин большого диаметра вращательным способом с обратной циркуляцией промывочной жидкости. Обзор № 53, М., ОНТИ ВИЭМС, 1970, № 53.

19. *Новый* забойный гидравлический двигатель Д-54/Д. Ф. Балденко, М. Т. Гусман, Н. Ф. Мutowкин, В. И. Семенец. — Разведка и охрана недр, 1977, № 10, с. 39.

20. *Осипов Ю. П.* Бурение геологоразведочных скважин с обратной промывкой. — Разведка и охрана недр, 1975, № 5, с. 8—9.

21. *Плеханов М. И., Суманев Н. Н.* Результаты внедрения снарядов ОЭС. — Разведка и охрана недр, 1975, № 5, с. 19.

22. *Плеханов М. И., Суманев Н. Н.* Эжекторные колонковые снаряды для алмазного бурения. Обзор. М., ВИЭМС, 1973.

23. *Селиверстов М. И.* Новые технические средства для геологоразведочного бурения. — Разведка и охрана недр, 1979, № 2.

24. *Соколов Е. Я., Зингер Н. М.* Струйные аппараты. М., Энергия, 1970.

25. *Соловьев Ю. Г., Подгорный Н. А.* Опыт бурения скважин алмазными коронками с обратной циркуляцией промывочной жидкости. — В кн.: Совершенствование техники и технологии геологоразведочных работ в Забайкалье, Чита, 1973.

26. *Справочник* по сооружению шахтных стволов специальными способами (под ред. Н. Т. Трупака). М., Недра, 1980.

27. *Сулакшин С. С.* Современные способы и средства отбора проб полезных ископаемых. М., Недра, 1970.

28. *Тематический* сборник трудов XXV/П. М. Сиваев, В. А. Алтухов, В. В. Мусатов, Н. И. Яровой. — В кн.: Осушение месторождений, рудничная геология, специальные горные работы. Белгород, 1978.

29. *Толокнов Н. И., Цехмистренко Н. М., Орлов В. В.* Технические средства и способы повышения выхода керна. Обзор. М., ВИЭМС, 1973.

30. *Федюкин В. А.* Проходка вертикальных выработок бурением. М., Недра, 1975.

31. *Шишмаков В. Т., Шур Л. М.* Одинарные эжекторные снаряды для горизонтального бурения. Экспресс-информация № 116. М., ВИЭМС, 1970.

32. *Яковлев Ю. Г., Крылов Г. А.* Технические средства для бурения с двойной колонной бурильных труб и выносом керна обратным потоком промывочной жидкости. Обзор. М., ВИЭМС, 1975.

33. *Ясашин А. М., Брюшков В. И.* Исследование параметров местной циркуляции бурового раствора при бурении в пластах с давлением ниже гидростатического. — Труды ВНИИБТ, вып. XXVIII, 1971.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение

3

Глава I.

Бурение скважин с нагнетательной обратной промывкой

§ 1. Нагнетательная обратная промывка по кольцевому зазору, создаваемая насосами, расположенными на поверхности	8
§ 2. Нагнетательная обратная промывка с непрерывным подъемом керна по одинарной колонне бурильных труб	29
§ 3. Нагнетательная обратная промывка с непрерывным подъемом керна по двойной колонне бурильных труб	30

Глава II.

Бурение скважин с всасывающей обратной промывкой

§ 1. Всасывающая обратная промывка с применением центробежных насосов, расположенных на поверхности	50
§ 2. Безнасосное бурение	62
§ 3. Всасывающая обратная промывка, создаваемая винтовыми погружными насосами с вращением бурильными трубами	64
§ 4. Всасывающая обратная промывка, создаваемая эрлифтом через бурильные трубы	67
§ 5. Всасывающая обратная промывка, создаваемая водоструйными насосами	101

Глава III.

Комбинированная промывка

§ 1. Нагнетательно-всасывающая обратная промывка, создаваемая одинарными эжекторными колонковыми трубами	107
§ 2. Нагнетательно-всасывающая обратная продувка, создаваемая одинарными эжекторными колонковыми трубами	131
§ 3. Нагнетательно-всасывающая обратная промывка, создаваемая двойными эжекторными колонковыми трубами	135

Глава IV.

Обратная промывка при бурении шахтных стволов

§ 1. Классификация способов обратной промывки при бурении шахтных стволов	157
§ 2. Всасывающая обратная промывка при бурении шахтных стволов с применением эрлифта	159
§ 3. Всасывающая обратная промывка при бурении шахтных стволов с применением водоструйных насосов	161
§ 4. Совмещенная промывка	164
§ 5. Периодическая обратная промывка	168
§ 6. Технология бурения	174
§ 7. Техничко-экономические показатели	178
Список литературы	184