

11 кон.

У23.96

Индекс 70067

НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

1/1978

СЕРИЯ
ТЕХНИКА

Н.И. Хисамутдинов

ГОРИЗОНТЫ
БУРЕНИЯ



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Практика бурения	6
Удар и вращение	12
Керн «плывет» вверх	21
Самодвижущиеся пневматические машины	26
Буровая — автомат	33
Кольская сверхглубокая	40
Бурит тепло, вода, взрыв, электромагнит	49
Литература	64

Хисамутдинов Н. И.
Х 51 Горизонты бурения. М., «Знание», 1978.
64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Техника», 1. Издается ежемесячно с 1961 г.)

Качество советской буровой техники завоевало ей прочную славу. Но требования к подобной технике постоянно растут. Брошюра представляет собой обзор последних достижений в бурении.

Материал рассчитан на читателей, интересующихся проблемами научно-технического прогресса.

30803

6П1.2

© Издательство «Знание», 1978 г.

Предисловие

Трудно перечислить все области применения бурения. Можно смело утверждать одно: бурить приходится всюду, где человеку нужно проникнуть в недра земли, вести строительство на ее поверхности или глубине. Первая маленькая скважина пробурена и на Луне.

Бурение — основной способ геологической разведки. Именно с его помощью будут решены задачи, поставленные перед геологами XXV съездом КПСС: «Значительно расширить геологоразведочные работы в целях дальнейшего увеличения минерально-сырьевых ресурсов, в первую очередь в районах действующих горнодобывающих предприятий и во вновь осваиваемых районах страны... Обеспечить опережающий рост разведанных запасов минерального сырья по сравнению с темпами развития добывающих отраслей промышленности.

Ускорить выявление и разведку новых месторождений нефти, природного газа и конденсата... Усилить разведку месторождений коксующихся и энергетических углей, особенно в европейской части СССР, богатых и легкообогатимых руд для черной и цветной металлургии, драгоценных металлов и алмазов, сырья для атомной энергетики и производства минеральных удобрений, а также подземных вод».

При разведке месторождений твердых полезных ископаемых применяется главным образом механическое колонковое бурение — на него уходит четверть всех ассигнований, выделенных на разведку. В 1975 г. этим способом пройдено 18,6 млн. м скважин, примерно треть этого «пути» — с помощью алмазных коронок.

Прогрессивное направление в колонковом бурении — уменьшение диаметра скважин. Более половины общей

длины скважин сейчас проходят коронками диаметром 76 мм и меньше. Это, в свою очередь, позволило увеличить частоту вращения породоразрушающего накопчика и, значит, пропорционально увеличить механическую скорость бурения. Свыше 1000 оборотов в минуту — на такой скорости работали лучшие буровые бригады. Некоторые геологоразведочные экспедиции начали использовать коронки диаметром 46 мм, что повышает линейную скорость на 20% по сравнению с бурением скважин диаметром 59 мм.

Признание получило ударно-вращательное колонковое бурение с использованием гидроударников (и в меньшей степени — пневмоударников). Всего же новыми высокоэффективными методами было пройдено в 1975 г. три четверти общего объема колонкового бурения. И притом на высокой скорости: до 470 м на станок в месяц против 369 м на станок в месяц в 1970 г.

Что ждет колонковое бурение в десятой пятилетке, в последнем году которой предполагается пробурить 21,5 млн. м скважин? По-прежнему будет широко внедряться высокооборотное алмазное бурение с частотой вращения до 1500 об/мин. Следовательно, предстоит изготовить станки, способные вращать с большой скоростью колонну бурильных труб: УКБ 200/300, СКБ 500/800 и СКБ 1200/2000, буровые насосы с регулируемой подачей, бурильные и обсадные трубы повышенной точности и т. д.

Перспективно и гидроударное бурение. С его помощью в 1976 г. пройдено 550 тыс. м скважин, к 1980 г. эта цифра вырастет вдвое.

Много ожидают и от комплексов технических средств для бурения со съемными керноприемниками. На их долю в 1980 г. придется до 3 млн. м скважин. Берется и за вооружение и другой способ доставки керна на поверхность, без подъема буровой колонны — восходящим потоком жидкости. Планируемый объем работы в конце десятой пятилетки составит 500 тыс. м скважин. Оба метода не конкурируют между собой: первый предназначен для глубин до 2000 м, второй — до 800 м.

В отдельной главе описаны самодвижущиеся пневматические машины для пробивания скважин в грунте. Они широко распространены в строительстве — при проходке взрывных скважин в подземных условиях и на открытых горных работах. Пневмоударные станки-

полуавтоматы — сейчас основной вид буровой техники при разработке рудных месторождений подземным способом.

Далее в брошюре рассказывается о разведочном бурении глубоких скважин на нефть и газ. Подробно представлена технология проходки сверхглубокой скважины на Кольском полуострове традиционным способом — турбобурами, опускаемыми в забой на конце колонны бурильных труб. И в то же время Кольская сверхглубокая — новое слово в бурении. Впервые в мировой практике значительная часть скважины пройдена «открытым стволом», иными словами, без обсадных труб. Кроме того, был применен целый ряд технических новинок — все, что хорошо себя зарекомендовало в других буровых коллективах страны. Одним словом, Кольская сверхглубокая стала экспериментальным полигоном, на котором испытывается новая техника и технология, — завтра ее возьмут на вооружение разведчики нефти и газа в разных местах Советского Союза.

Глубокое разведочное бурение представлено также первой в мире автоматизированной установкой Уралмаш-125А. Ею управляет вахта из двух человек — вдвое меньше, чем на обычной буровой. Оператор руководит работой бурового автомата со специального пульта управления, его помощник находится непосредственно на буровой. Полностью автоматизированы следующие операции: поддержание заданного режима бурения, спуск и подъем инструмента, утяжеленных труб, наращивание буровой колонны. Все остальные операции механизированы и частично автоматизированы. Ожидается, что новая установка вдвое поднимет производительность труда.

Заключает брошюру глава о новых перспективных способах бурения.

Автор не ставил своей задачей монографически осветить все проблемы бурения скважин и все области его применения. Цель брошюры — рассказать о новых и наиболее перспективных способах проходки скважин, главным образом для разведки твердых полезных ископаемых и нефтяных и газовых месторождений.

Практика бурения

Среди отраслей народного хозяйства геологоразведка — лидер по объему буровых работ и разнообразию применяемых способов проникновения в недра. Глубоководное бурение, например, помогло получить представление о строении земной коры. Его проводили с борта специального судна: бур погружался в океанское дно на расстоянии от корабля в 6 км. Анализ образцов пород, поднятых оттуда, показал, что морское дно в месте бурения расширяется. Сопоставив эти данные с уже имевшимися, ученые пришли к выводу о том, что земная кора состоит из отдельных плит толщиной до 150 км. Они движутся, несут на себе материи, океаны. Новые представления принципиально меняют воззрения на процессы формирования верхней земной оболочки, раскрывают новые закономерности размещения (а значит, и поисков) полезных ископаемых.

Структурное бурение применяется для изучения больших «сухопутных» глубин, устанавливает строение пластов горных пород, выявляет продуктивные комплексы, закрытые сверху толщей отложений.

Открытие месторождения — работа в несколько этапов. Сначала геологи-поисковики, геофизики указывают на геологической карте участки, где обнаружено рудопоявление. Затем предварительная разведка: геологоразведчики должны дать предварительную характеристику рудной залежи — большая она или маленькая, каковы ее форма и условия залегания в недрах, много ли полезного компонента содержится в руде и т. д.

Следующий этап — детальная разведка, когда с высокой степенью точности выясняются структурные особенности месторождения, формы и условия залегания

каждого тела полезного ископаемого, гидрологические и горнотехнические параметры...

Основной способ предварительной и детальной разведки — бурение скважин. Только так можно поднять на поверхность керн — цилиндрический столбик горной породы (колонку) и получить точную информацию о строении недр в определенном месте и на определенной глубине. Вот почему геологоразведочные экспедиции более половины своих средств тратят на бурение.

Бурение скважин — самый распространенный метод добычи жидких и газообразных полезных ископаемых: нефти, газа, минеральных вод, рассолов... Трудно представить себе, как иначе смогло бы человечество извлекать из глубин жидкое топливо и газ, основу современного топливно-энергетического баланса всех стран мира. В начале этого десятилетия было потреблено 2,5 млрд. т нефти — в десятки раз больше, чем расходовалось полвека назад! А морская нефтедобыча? Около четверти всей нефти в мире добывается в последние годы на прибрежных шельфах.

В Советском Союзе более двух третей всей добываемой нефти поднимается на поверхность с применением закачки воды в пласт. Вода создает искусственный водонапорный режим в пласте, поддерживает режим добычи в одном уровне в течение долгого времени, способствует более полному извлечению нефти. «Заводнение» нефтяного пласта может быть законтурным: скважины бурят вблизи границ нефтяного пласта и туда поступает вода. Если породы не принимают воду, прибегают к внутриконтурному варианту заводнения: скважины проводятся в залежь. Иногда нагнетая воду, пласт разрезают, каждый участок эксплуатируют затем самостоятельно.

В последние годы все больший интерес вызывают методы добычи твердых полезных ископаемых без рудников и шахт — через скважины. Их называют геотехнологическими, а новую область горного дела — геотехнологией. Ее особенности: люди не работают под землей, не наносится ущерб природе (на поверхности нет карьеров, отвалов породы, а под землей — больших пустот).

Вот, например, сера. В недрах она встречается в известняках. Ею добывали открытым способом, а затем на обогатительных фабриках выплавляли из него серу.

Геотехнологический способ предусматривает проходку скважины большого диаметра, которая «пронзает» пласт известняка. Ее диаметр — 250 мм. В скважину спускают обсадную колонну. Небольшое пространство между стенками скважины и колонной цементируется.

До нижней границы пласта монтируют трубу для подачи горячей воды, в нее — еще одну, для подъема серы, и еще одну — для подачи воздуха. Затем в забой нагнетают воду с температурой до 440 К. Горячая вода доходит до пласта и через отверстие в трубе растекается. Она проникает в поры, трещины, смывает серные образования. Сера плавится и начинает стекать в самый нижний горизонт скважины.

Вокруг ствола в серном пласте образуется подземный автоклав. Водой и нагнетаемым воздухом сера выкачивается наверх, где заливается в специальные цистерны. Добыть так 1 т серы в 4—5 раз дешевле, чем обычным способом. Серу можно и сжигать под землей, выкачивая через скважины газ SO_2 , нужный химической промышленности.

Опыт подземной выплавки серы показывает, что геотехнологические методы применимы в тех случаях, когда твердое полезное ископаемое удается сделать «подвижным». Например, медь выщелачивается растворами сульфата окисного или закисного железа при добавке серной кислоты. Уран становится «подвижным» благодаря чистой серной кислоте. Она же пригодна для извлечения железа.

Нужный раствор доставляют к рудной залежи через скважины, которые располагают рядами, кольцами, многоугольниками. Раствор с полезным компонентом выкачивают через другие скважины и отправляют в цехи.

Другой вариант предусматривает проходку к залежи горных выработок. Месторождение разбуривают скважинами на отдельные блоки и взрывают их. А затем сверху на куски руды льется раствор. Он оmyвает их, растворяет нужный компонент и стекает вниз — в горную выработку. Отсюда — путь наверх, через скважины.

В лаборатории геотехнологических методов Государственного научно-исследовательского института горнохимического сырья разработано гидромониторное устройство с тремя насадками: центральная — врубная,

боковая — отбойная и боковая — транспортирующая. Устройство доставляется на глубину через скважину. Мощные струи воды пробивают отверстие в рудном массиве, дробят руду и смывают ее в направлении соседней скважины. По ней рудную пульпу откачивают наверх. Таким способом сейчас разрабатывается часть месторождения фосфоритов около Кингисеппа. В Канаде с помощью скважинной гидродобычи извлекается золотосодержащий песок.

В Институте гидродинамики Сибирского отделения АН СССР проведены опыты по бесшахтной разработке погребенных россыпей. Была сделана попытка использовать свойство песков-плывунов заполнять оказавшееся рядом свободное пространство. Полость создавали с помощью скважины, в нее опускали два соосных трубопровода, по одному поступала вода, а по центральной трубе наверх откачивалась пульпа. Расчеты показали, что скважина такого рода может работать в течение 8 лет и поставлять каждый час 20 м³ песка.

В Советском Союзе действует несколько станций Подземгаза, работа которых основана на эффекте подземного сжигания угля. Скважины доставляют на поверхность, кроме газа, ценные химические вещества.

Разработан способ доставки на поверхность угля... через скважины. В угольный пласт сначала закачивают жидкие реагенты, которые разрушают уголь до частиц с размерами не более полумиллиметра. Этот угольный порошок выдувают на-гора воздухом или азотом. Частицы отделяют от реагента и получают обогащенный уголь.

Основные поставщики минерального сырья — открытые горные разработки. Местные строительные материалы, флюсовые известняки, асбест, каолин, тальк сейчас извлекаются только открытым способом. В 1980 г. на угольные карьеры страны придется более половины добычи, железорудные дадут 80%, для цветных металлов этот показатель возрастет до 75%.

Большая часть работы в карьерах приходится на взрыв. За 60-е годы в Советском Союзе с его помощью было добыто 40 млрд. т минерального сырья, для чего потребовалось 6 млн. т взрывчатых веществ.

Взрывчатые вещества размещают на уступах карьеров в скважинах большого диаметра. Для бурения таких скважин создана серия станков СБШ, способных

проходить стволы диаметром до 320 мм. Это сложные агрегаты с высокой энерговооруженностью, полностью механизированные. Для разрушения горных пород используются шарошечные долота нескольких типоразмеров, они могут преодолевать породы различной твердости.

Скважины помогают освобождать угольные пласты от содержащегося в нем метана. Перед тем как начать разработку, с поверхности в пласт бурится несколько скважин. Через них откачивают опасный газ. Другой способ предусматривает закачку через скважину воды. В последнее время ученые нашли еще один способ предварительной дегазации. Они предлагают закачивать в пласты растворы с определенными видами микроорганизмов, способных разлагать метан.

В горной и строительной промышленности, сельском хозяйстве, на геологоразведочных работах находят широкое применение скважины большого диаметра. Они представляют собой вертикальные горные выработки диаметром более 500 мм. Их назначение различно: стволы диаметром до 1500 мм и глубиной до 300 м используются для водопонижения, водоотлива, вентиляции, прокладки кабелей, лесоспуска, добычи подземных вод, для специальных инженерных целей. Выработка диаметром до 2000 мм и глубиной до 1000 м проходится для вентиляции глубоких горизонтов при разработке месторождений полезных ископаемых.

Объем проходки скважин большого диаметра год от года растет, увеличивается и их диаметр. Объясняется это тем, что способ не требует присутствия людей в выработке, такие трудоемкие операции горнопроходческого цикла, как разрушение и погрузка, механизмируются, стало быть, экономится время.

При проходке мягких пород небольшой мощности применяются легкие буровые установки вращательного и ударно-канатного бурения. Для проходки глубоких скважин наиболее эффективен реактивно-турбинный способ. Он реализуется с помощью нескольких турбобуров, жестко соединенных между собой. Поток жидкости с поверхности вращает вокруг вертикальной оси эту систему, а также — долота турбобуров. Вода же выносит на поверхность разрушенную породу.

Бурение необходимо и при геофизических исследованиях в сейсморазведке — скважины служат для разме-

щения заряда, создающего сейсмические колебания, для создания подземных нефте- и газохранилищ, проведения кабелей в подземных выработках, замораживания неустойчивых водоносных горных пород, нагнетания цемента в трещиноватые и пористые породы, для осушения территорий и т. д. И со временем диапазон применения бурения непрерывно увеличивается.

Удар и вращение

В 1976 г. за работы по разведочному колонковому бурению была присуждена Государственная премия СССР сотрудникам СКБ научно-производственного объединения Геотехника и ряда геологических экспедиций.

Издавна буровики знали, что лучше всего справляются с горными породами удар и вращение, действующие одновременно: процесс бурения интенсифицируется в связи с подводом к породоразрушающему инструменту дополнительной энергии в виде ударных импульсов. Удар заставляет инструмент погружаться в породу, а вращение срезает возникшие при ударе гребешки.

При гидроударном бурении колонна труб вращается буровым станком, а осевая нагрузка создается ее весом или при малых глубинах — гидравлической подачей. На нижнем конце бурильной колонны устанавливается гидроударная машина. В движение ее приводит поток промывочной жидкости, которую подает с поверхности насос. На пути потока регулярно встают препятствия. Возникают гидравлические удары. Благодаря им кинетическая энергия стремящейся вниз жидкости преобразуется в ударные импульсы. Они передаются колонковой трубе, через нее — коронке.

На горную породу совместно воздействуют осевая нагрузка, крутящий момент и ударные импульсы. Этим и объясняется высокая эффективность бурения — значительно возрастает передаваемая породе забойная мощность.

Гидроударное бурение — разновидность ударно-вращательного, оно успешно сочетает достоинства и ударного и вращательного способов. Например, при про-

ходке слабоабразивных пород средней крепости лучше всего применять резание. Это означает, что наибольший эффект можно получить, если увеличить осевую нагрузку и скорость вращения, т. е. приблизить гидроударное бурение к вращательному. В твердых и крепких абразивных породах выгоднее ориентироваться на режим ударно-поворотного метода: снижается осевая нагрузка и скорость вращения, основную работу производят удары.

Универсальность гидроударников позволяет им успешно разрушать большинство горных пород.

Конструкции гидроударных машин различны. В устройствах непосредственного действия гидравлический удар обрушивается на поршень, жестко связанный с породоразрушающим инструментом. Машины прямого действия: разгон поршня-бойка энергией потока жидкости, возвращение его в исходное положение — пружиной. Машины обратного действия: боек взводится потоком жидкости, а рабочий ход осуществляется под действием пружины. Машины двойного действия: энергия потока реализует рабочий и обратный ход бойка.

Исследования показали, что наиболее целесообразно использовать схему прямого действия. Она проста по конструкции, стабильна, надежна. Основная система распределения потока промывочной жидкости — клапанная. Это значит, что в качестве привода можно использовать загрязненную промывочную жидкость и глинистые растворы.

Гидроударные машины не могут нормально работать без большого количества промывочной жидкости. Чтобы пропустить ее сверху до гидроударника, необходимо все проходные отверстия на этом пути сделать достаточно широкими, что заставило конструкторов использовать стандартный буровой снаряд с большим наружным диаметром — 108 и 89 мм. Коронки к нему были нестандартные — диаметром 115 и 96 мм.

Такие большие скважины бурились гидроударниками Г-3А, Г-5А, ГМД-2. Механическая скорость возросла в 2—4 раза, производительность — в 1,5—2 раза, стоимость 1 м бурения снизилась на 20—25%.

С середины 60-х годов в разведочном бурении появились алмазные и твердосплавные коронки малых диаметров — 76 и 59 мм. Выгоды от их применения очевидны: уменьшается объем разрушаемой породы и со-

ответственно возрастают показатели проходки. Разработчики должны были создать машины наиболее ходовых диаметров — в производство начали поступать гидроударники Г-7 (диаметр 76 мм) и Г-9 (59 мм), а также нужный вспомогательный инструмент.

Рассмотрим, как действует машина Г-7, и на этом примере познакомимся с основными принципами работы гидроударников.

При спуске и подъеме Г-7 находится в скважине в подвешенном состоянии. Ее нижняя часть благодаря шлицевым разъемам опускается под собственной тяжестью. Между поршнем и клапаном образуется щель, через нее легко проходит промывочная жидкость.

Гидроударник ставится на забой. Шлицевые разъемы смыкаются, клапан закрывает отверстие в поршне, происходит гидравлический удар. Давление возрастает до $1 \cdot 10^7$ — $1,5 \cdot 10^7$ Н/м². Под его действием клапан и поршень-блок устремляются вниз, сжимая пружины бойка и клапана. Следует удар по наковальне, который передается на коронку. Во время движения ограничитель отрывает клапан от поршня. Жидкость вновь свободно проходит через гидроударник, давление падает и пружина возвращает клапан в первоначальное положение. Другая пружина возвращает вверх поршень-боек. Клапан вновь перекрыт — очередной гидравлический удар. Цикл повторяется.

Имеется вариант Г-7 с понизителем, что сокращает расход жидкости в 2 раза, а забойная мощность не уменьшается. Вода, заставив работать гидроударник, проходит на забой и поднимается по затрубному пространству вверх, унося с собой частицы разрушенной горной породы.

Гидроударная машина Г-9 отличается от Г-7 главным образом тем, что предназначена для бурения коронками диаметром 59 мм. Комплексами, использующими эти гидроударные машины, пробурено сотни тысяч метров скважин.

Эти машины отличает высокая энергия единичного удара, число же ударов достигает 1200 в минуту: резцы сильно углубляются в породу и нередко ломаются. Вот почему существующие коронки плохо работают в породах средней крепости (которые лучше поддаются резанию, чем удару). В таких случаях выгоднее изменить режим бурения: уменьшить энергию единичных ударов,

но увеличить их частоту. Эти обстоятельства послужили отправной точкой при создании гидроударных машин нового типа. Впервые в мировой практике появились высокочастотные гидроударники ГВ-5 и ГВ-6 для бурения скважин диаметром 93, 76 и 59 мм.

Первая машина сделана по схеме прямого действия, в ней жидкость распределяется плавающим клапаном. Энергия единичного удара невелика — 1,2—1,8 кгс·м, число ударов в минуту около 3,5 тыс. Сфера ее применения — бурение скважин на угольных месторождениях Донбасса, Кузбасса, Карагандинского района. Гидроударные машины ГВ-5 применяются также и при разведке других видов полезных ископаемых: асбеста на Урале, редких металлов в Средней Азии. Объем их работы в 1975 г. составил 500 тыс. м скважин.

Выпуск гидроударника ГВ-6, который принципиально не отличается от ГВ-5, вот-вот начнется, и к 1980 г. объем высокочастотного гидроударного бурения составит 2 млн. м, что принесет 4—5 млн. руб. годовой экономии.

Теоретические и экспериментальные работы в СКБ НПО Геотехника показали, что в гидроударном бурении можно использовать существующий алмазный буровой инструмент. Твердосплавная матрица с алмазной начинкой выдерживает наложение высокочастотных ударных импульсов от забойной машины. При этом значительно возрастает эффективность алмазного бурения: увеличивается количество энергии, подводимой к горной породе, появляются условия для ее объемного разрушения. Важно и другое обстоятельство: гидроударная машина встраивается в стандартный буровой снаряд без каких-либо существенных переделок.

На стендах и в поле гидроударным «алмазным» способом было пройдено большое количество экспериментальных скважин. Во время их бурения удалось установить оптимальные для алмазных коронок энергию и частоту ударов. Используя эти данные, определили подходящие для целей алмазного бурения типы гидроударных машин и коронок, наилучшие режимы бурения в породах с различными физико-механическими свойствами.

Гидроударно-алмазный метод бурения (устройство — гидроударник ГВ-5 и однослойные алмазные коронки) применяется главным образом при разведочных

работах в крепких породах VIII—XII категорий. Показатели бурения лучше по сравнению с традиционным алмазным способом. Механическая скорость, например, увеличилась в некоторых случаях в 2 раза.

Сегодня выявлены условия, в которых достоинства гидроударно-алмазного бурения проявляются наиболее ярко — при бурении в крепких породах, в областях сильной трещиноватости, в породах высокой абразивности, где зачастую при традиционном вращательном бурении алмазными коронками инструмент быстро «запоровывается».

Гидроударное алмазное бурение в промышленных масштабах внедрено только в Советском Союзе. Гидроударные машины повышают эффективность бурения не только потому, что подводят к забою дополнительную энергию, но и благодаря косвенным факторам. Так, выяснилось, что скважины, пройденные гидроударным способом, меньше искривляются. Способствуют тому высокая скорость бурения, незначительное разрушение ствола скважины, небольшая скорость вращения бурового снаряда, его жесткость. В итоге — изменение зенитного угла скважин не превышает двух десятых градуса на 100 м. Общий экономический эффект от того, что буровые снаряды с гидроударниками движутся в строго заданном направлении, составляет в масштабах Советского Союза несколько сотен тысяч рублей в год.

Другая статья косвенных выгод от гидроударного бурения — резкое повышение качества кернового опробования в самых сложных геологических условиях, когда другие способы не дают положительных результатов. В паре с гидроударными машинами работают эжекторы, и в некоторых случаях гидроударно-эжекторный способ повышает выход керна на 20—30%. Можно утверждать, что в настоящее время это наиболее эффективный способ при керновом и шламовом опробовании.

Достоинства гидроударного способа бурения очевидны. Тем более весомыми стали они в последние годы в связи с внедрением гидроударных машин малого диаметра, высокочастотных моделей, гидроударно-алмазного бурения. Объем бурения новым методом непрерывно растет, в 1980 г. он составит около 2,3 млн. м. Экономический эффект — более 10 млн. руб. в год.

Все основные разработки в области гидроударного

бурения выполнены на уровне изобретений: авторами получено более 30 авторских свидетельств на конструкции машин, породоразрушающий и вспомогательный инструмент. Советские гидроударные машины широко известны за рубежом. Они применялись при бурении скважин на строительстве Асуанской плотины, закуплены ГДР, Болгарией, Чехословакией, Венгрией, Румынией.

Не только вода может быть приводом ударных буровых машин. В 20—30-е годы в горных карьерах с успехом работали ударно-вращательные установки, оснащенные пневматическими забойниками. Они значительно повысили производительность труда и снизили стоимость работ при проходке взрывных и минных скважин в твердых и крепких породах по сравнению с известными в то время видами бурения: дробовым, вращательным, ударно-канатным, ударно-штанговым.

Но на геологоразведочных работах пневмоударный способ широкого распространения не получил. Он оказался неэффективным при проходке разведочных скважин, глубина которых сейчас нередко достигает 1500—2000 м. В карьерах же взрывные и минные скважины углубляются не более чем на несколько десятков метров. Кроме того, пневмоударное бурение оказалось бесильным перед водой, которая появляется в большинстве скважин. Она мешает сжатому воздуху, уже совершившему работу в пневмоударнике, подниматься наверх с частицами разрушенной породы.

Поэтому горизонты пневмоударного бурения не простираются в настоящее время глубже нескольких сотен метров. При проходке скважин на эту глубину и определенных условиях, скажем, в районах распространения вечной мерзлоты, оно хорошо. Более того, бурение колонковых скважин в разрезах, скованных льдом, насыщенных мощными валунно-галечными отложениями, вообще стало возможным благодаря ударно-вращательному способу с продувкой скважин сжатым воздухом.

В отделении экспериментальных исследований Центрального научно-исследовательского горноразведочного института цветных, редких и благородных металлов разработан комплекс технических средств для пневмоударного бурения на россыпных месторождениях полезных ископаемых в вечномерзлых породах. Основной

элемент комплекса — погружной разведочный пневмоударник РП-130 (или РП-130М).

Пневмоударник РП-130 — это воздухораспределительное устройство с перекидным клапаном и ударным узлом (поршень, цилиндр, нижняя втулка, хвостовик, шлицевая втулка). Поршень разделяет полость цилиндра на верхнюю и нижнюю камеры. Сжатый воздух периодически поступает в верхнюю или нижнюю камеру в зависимости от положения поршня и перекидного клапана.

Перед началом работы поршень находится в крайнем нижнем положении. Верхняя камера сообщается с атмосферой, нижняя в это время закрыта. Включают компрессор, сжатый воздух проходит по бурильным трубам и устремляется в верхнюю камеру. Он увлекает за собой одно крыло перекидного клапана и опускает его вниз. Доступ воздуха в верхнюю камеру перекрыт, открыт канал, проводящий воздух в нижнюю камеру. Она начинает наполняться. Вместе с тем возрастает давление на поршень, он движется вверх и перекрывает выхлопные окна. Подъем не прекращается до тех пор, пока не откроются другие выхлопные окна, после чего давление в нижней камере резко снижается.

Поршень по инерции продолжает двигаться и сжимает воздух в верхней камере. В ней повышается давление, постепенно оно начинает превышать давление в воздухопроводной сети. Открывается клапан в верхнюю камеру, и туда вновь устремляется воздух; доступ в нижнюю ему перекрыт. Поршень останавливается и под давлением воздуха в верхней камере начинает движение вниз — рабочий ход поршня. В самом его конце поток воздуха вновь перераспределяется: закрываются одни и открываются другие выхлопные окна. Давление в верхней камере падает, в нижней повышается. В результате перекидной клапан возвращается в исходное положение: канал в верхнюю камеру закрыт, в нижнюю открыт. Следует удар по хвостовику — породоразрушающий инструмент бьет по породе. Затем цикл «холостой ход — рабочий ход» повторяется.

Пневмоударник РП-130 позволяет проходить скважины в мерзлых породах глубиной до 300 м. Расход воздуха 8—10 м³/мин, давление — до $1 \cdot 10^6$ Н/м², энергия удара — 25—30 кГм, частота ударов — 900—1100 в минуту. Диаметр скважин — 161, 184, 216 мм.

Испытания показали, что производительность пневмоударного бурения в среднем в 2 раза выше, чем вращательного, — до 600—650 м на станок в месяц. Но основное преимущество пневмоударного бурения в том, что оно позволяет получать керн высокого качества с ненарушенной структурой. По данным испытаний средний выход керна при использовании двойных колонковых труб около 96%.

В настоящее время пневмоударное бурение — единственный способ, который может значительно улучшить условия труда буровых бригад в районах Крайнего Севера и сделать их работу круглогодичной. В десятой пятилетке объем пневмоударного бурения достигнет 480 тыс. м скважин. Высокая эффективность метода подтверждена практикой. На некоторых золотосеребряных и оловорудных месторождениях «воздушное» бурение увеличило скорость проходки в 2 раза по сравнению с алмазным, а на разведке алмазных месторождений Якутии она выросла в 3 раза.

При ударно-вращательном бурении гидроударниками и пневмоударниками требуется энергия двух видов: механическая для вращения снаряда и энергия напора жидкости или сжатого воздуха. А это подразумевает сложное и дорогое оборудование — мощные насосы, высокопроизводительные компрессоры и т. д.

В Центральном научно-исследовательском горноразведочном институте цветных, редких и благородных металлов разработаны устройства (снаряды) ударно-вращательного бурения с механическим приводом ударного механизма. Они снабжены автономным ударным механизмом, который работает без дополнительных источников энергии.

Собранный снаряд опускается в скважину на бурильных трубах и ставится на забой. При включении станка вращение от его корпуса передается колонковой трубе и, следовательно, буровой коронке через фрикционное соединение. Когда момент сопротивления коронки на забое меньше крутящего момента, передаваемого фрикционным соединением, все детали снаряда вращаются синхронно — устанавливается режим вращательного бурения. Он, как известно, особенно удобен при забуливании.

В процессе работы возрастает давление на породоразрушающий инструмент. В результате увеличивает-

ся момент сопротивления на коронке. В определенное время он становится равным крутящему моменту, передаваемому фрикционным соединением. И тогда в этом соединении появляется проскальзывание. Корпус, втулка и ударный механизм начинают вращаться быстрее; кулачковая шайба набегает кулачками на ролики, ударный механизм взводится — при соскакивании кулачков шайбы с роликов ударник приходит в соприкосновение с бойком. Удар, во фрикционном соединении на короткий срок увеличивается давление и колонковая труба поворачивается. Таким образом, удар сопровождается поворотом, бурение ведется в ударно-вращательном режиме.

Если продолжать увеличивать давление на породоразрушающий инструмент, то момент сопротивления на коронке возрастет настолько, что колонковая труба во время удара уже не сможет проворачиваться: проходка будет вестись в режиме ударно-забивного бурения, колонковая труба входит в породу как трубчатая свая. Такой способ удобен для бурения скважин, главным образом в мягких и вязких породах.

Использовать снаряды целесообразно при геологической разведке в рыхлых горных породах, в частности в районах распространения вечной мерзлоты. Опытное бурение показало, что по сухим суглинкам производительность бурения без промывки составила 8 м/ч, по обводненным породам того же типа — до 12 м/ч при скорости вращения снаряда 190 об/мин. Наилучшие результаты достигнуты при проходке слабообводненных пород средней плотности, удалось добиться стопроцентного выхода керна. Кроме того, при бурении с промывкой скорость значительно возрастает.

Керн «плывет» вверх

При колонковом бурении на разрушение горной породы на забое тратится примерно 40—50% времени. Транспортировка керна на поверхность и другие вспомогательные операции — 30—40% времени. Переезд установки с одной точки бурения на другую — 6—9% времени. Примерно десятая часть — на вынужденные простои, в том числе и на аварии.

Чтобы повысить скорость бурения, недостаточно сократить время какой-либо одной операции. Даже если удастся урезать его в несколько раз, конечный результат окажется незначительным. Расчеты, например, показывают, что при двукратном повышении механической скорости бурения скорость проходки скважины будет увеличена всего на 30—40%. Поэтому наиболее перспективными видами бурения следует считать такие, которые примерно в равной степени позволят уменьшить затраты времени на все операции — тогда скорость бурения на станок в месяц возрастет в 1,5—2 раза по сравнению с той, что достигнута в настоящее время.

Из приведенных данных видно, как много времени уходит на транспортировку керна к поверхности. А ведь это вспомогательная операция! И в то же время очень ответственная. Углубившись на очередные несколько метров, мастер вынужден остановить работу и поднять буровой снаряд на поверхность только для того, чтобы извлечь из колонковой трубы керн. Подъем и спуск бурового снаряда в скважине глубиной до 1000 м занимают 2,5 ч.

Кроме того, из-за частого спуска и подъема бурового инструмента в скважине образуются желоба,

они — причина многих аварий. При движении вверх-вниз снижается стойкость алмазной коронки. Следует также отметить, что спуско-подъемные операции — наиболее трудоемкие во всем процессе бурения. И наконец, главное: при использовании обычной колонковой трубы зачастую не удается поднять на поверхность весь керн, труба заполнена не полностью, да и материал, оказывается, плохого качества. Таким образом, не решается главная задача разведочного бурения.

В научно-производственном объединении Геотехника разработаны комплексы технических средств для бурения со съемными кернаприемниками — КССК-76 и ССК-59. Первый предназначен для проходки скважин диаметром 76 мм на глубину до 2000 м в породах средней твердости, второй — для проходки скважин диаметром 59 мм до глубины 1200 м в твердых породах. Но принцип действия комплексов одинаков: как только кернаприемная труба заполнится керном, ее отделяют от бурового снаряда и отдельно от него внутри буровой колонны поднимают на поверхность. Здесь керн вынимают, кернаприемник вновь уходит в скважину и занимает свое рабочее место в буровом снаряде.

Комплекс КССК-76 состоит из трех основных элементов: колонкового снаряда, ловителя и бурильной колонны. Колонковый снаряд — это алмазная коронка, колонковая труба и, собственно, съемный кернаприемник с приемной трубой и кернарвателем. Именно она заполняется горной породой в процессе бурения.

Сначала буровой снаряд опускается в скважину без съемного кернаприемника. Как только коронка достигнет забоя — спуск прекращается. В бурильную колонну помещают кернаприемник, который сбрасывается вниз. Во время его движения сквозь промывочную жидкость, которой заполнена бурильная колонна, включается насос. Поток жидкости подгоняет механизм — скорость спуска может достигать 1,25 м/с.

Съемный кернаприемник достигает наружного корпуса колонкового снаряда, входит в него, разжимая пружину механизма блокирования. Этот же механизм закрепляет его в рабочем положении.

В процессе бурения вырезаемый коронкой столбик горной породы входит в кернаприемную трубу. Она заполнена — специальное устройство перекрывает межтрубное пространство и прекращает движение промывочной жидкости.

Этот сигнал для прекращения бурения: манометр насоса фиксирует повышение давления. Далее керн заклинивают, и в скважину опускают ловитель на тросе. Он проходит по бурильной колонне до колонкового снаряда, входит в него и охватывает головку съемного кернаприемника. Включается лебедка, и ловитель со съемным кернаприемником следует наверх. На поверхности керн вынимают и пустой кернаприемник вновь опускают в скважину.

Применение съемных кернаприемников в несколько раз сокращает время на спуско-подъемные операции, позволяет рационально использовать баланс рабочего времени буровой бригады. За один рейс (спуск и подъем бурового снаряда) удается пройти в 10—20 раз больше, чем при работе без съемных кернаприемников.

Конструкция комплексов такова, что бурение можно вести на высоких скоростях вращения — тем самым значительно увеличивается механическая скорость проходки. Так, например, бригада бурового мастера И. Смолича из Шахтинской геологоразведочной экспедиции Волго-Донского геологического управления Министерства геологии РСФСР, работая с КССК-76, достигла скорости бурения 500 м на станок в месяц против прежних 337 м. Бригада П. Мелихова из Джезказганской геологоразведочной экспедиции геологического управления Министерства геологии Казахской ССР с помощью комплекса ССК-59 смогла проходить 1160 м на станок в месяц.

Эти скорости не предел, освоение устройств со съемными кернаприемниками только начинается. В последнем году десятой пятилетки с помощью комплексов со съемными кернаприемниками предполагается пробурить 3 млн. м скважин.

Съемные кернаприемники, хорошо зарекомендовавшие себя на больших глубинах, оказались непригодными для бурения скважин глубиной до 100 м в мягких породах и породах средней твердости: очень велик расход промывочной жидкости, керн часто заклинивает в приемной трубе. Между тем бурить скважины 100-метровой глубины во многих случаях необходимо — при геологосъемочных, поисковых и картировочных работах, объем которых непрерывно возрастает. Традиционные недостатки обычного колонкового бурения делают его малоэффективным для таких глубин.

Проблема «неглубокого» бурения наиболее удачно решается способом обратной промывки скважин, изменением направления потока промывочной жидкости. Обычно она движется с поверхности по колонне бурильных труб, оmyвает забой, забирает частички разрушенной породы и по пространству между трубами и стенками поднимается наверх. В новом варианте поток направляют с поверхности по затрубному пространству, а затем наверх жидкость поступает по бурильной колонне. Забой хорошо очищается от шлама, керн почти не заклинивает в колонковой трубе — его выход возрастает в 2—3 раза. Кроме того, механическая скорость бурения возрастает на 25—30%, величина проходки за рейс — в 1,5—2 раза.

Для гидравлической транспортировки керна требуется специальная бурильная колонна: у нее должно быть одинаковое внутреннее сечение по всей длине. Насос подает жидкость в количестве 100 л/с. Однако даже при таком обильном водоснабжении поглощается много раствора, нагнетаемого в затрубное пространство, — в мягких породах жидкость усиленно впитывается. Кроме того, обратная промывка катализирует процесс поглощения, даже надежные разрезы теряют «непроницаемость» при восходящем токе, что не замечалось при прямой промывке. Решили использовать двойные бурильные трубы, в них жидкость поступает к забою по зазору между наружной и внутренней трубами, а поднимается на поверхность по центральному каналу. Был установлен оптимальный диаметр керна — 32 мм, этого вполне достаточно для опробования месторождений твердых полезных ископаемых даже с неравномерным оруднением. Получить такой керн коронками диаметром 76 мм можно, используя двойную колонну труб диаметром 73 мм.

Керн отделяется от крепкой горной породы с помощью клинового кернолома, установленного в 70 мм от торца коронки. Если бурят мягкие породы, скажем, наносные, то эта операция производится скручивающими усилиями и перепадом давления жидкости. После этого колонка горной породы должна беспрепятственно пройти по трубам на поверхность.

Скорость подъема керна не связана с его длиной и чуть меньше скорости восходящего потока (1,2—1,6 м/с).

В СКБ научно-производственного объединения Геотехника разработан комплекс технических средств КГК-100 для бурения скважин с обратной промывкой и гидравлической транспортировкой керна. Этот вид бурения применяется при поисково-съемочных работах, геологическом картировании и разведке месторождений твердых полезных ископаемых. Он позволяет коронками диаметром 76 мм проходить скважины на глубину до 100 м. Промывочная жидкость — техническая вода.

Состав комплекса КГК-100: буровая установка, бурильная колонна, твердосплавные коронки, промывочный сальник. Керн — его выносит на поверхность восходящий поток — попадает в специальное кернаприемное устройство. Это рама, на которой закреплены оси со шкивами для перемещения ленточного транспортера, оборудованного толкателями. Выбуренный материал поступает вместе с водой в съемные перфорированные лотки на транспортерах. Устройство их перемещения — штурвал, связанный со шкивом, — монтируется над емкостью.

Испытания подтвердили, что керн, полученный таким способом, геологически высокодостоверен. Он не загрязнен глинистым раствором, как это бывает обычно, и его можно использовать для многих видов анализа. Удастся очень точно привязать образец к тому интервалу скважины, из которого он был взят. Экономический эффект от внедрения одного комплекса — более 23 тыс. руб. в год.

По заданию Министерства геологии СССР сконструирована и изготовлена установка, которая при бурении также использует обратный поток жидкости. Вода поступает в скважину из котлована, вырытого рядом. Она проходит по затрубному пространству на забой, где ее заставляет подниматься наверх по бурильным трубам воздух. Он поступает в низ скважины по двум трубкам небольшого диаметра, приваренным с разных сторон к бурильным трубам. На поверхности вода попадает в отводной шланг и сливается в котлован. В нем твердые частицы осаждаются, после чего жидкость вновь стекает в скважину. Обратновсасывающая промывка позволяет проходить гидрологические скважины большого диаметра глубиной до 100 м.

Самодвижущиеся пневматические машины

Повсюду в мире ведутся работы по созданию новых и реконструкции действующих канализационных, кабельных и других сетей. В СССР, например, каждый год прокладывают сотни тысяч километров трубопроводов различного назначения и десятки тысяч километров кабелей. Общепринято вести подобные работы открытым способом, с помощью траншей. Это не всегда оправдано, а часто и невозможно. Сложно прокладывать коммуникации под насыпями, железнодорожным полотном, зданиями и сооружениями, шоссе, дорогами, магистральными улицами. Гораздо выгоднее вместо траншей использовать горизонтальные скважины.

Отдел Института горного дела СО АН СССР, возглавляемый лауреатом Ленинской премии профессором Б. В. Суднишниковым, разрабатывает самодвижущиеся пневматические машины ударного действия — пневмопробойники — для проходки скважин в грунтах и горных породах. В настоящее время эти устройства закупают более чем в 30 странах, в том числе в ФРГ, Англии, Франции, Италии, Японии.

Пневмопробойник очень прост. Его корпус — тонкостенный цилиндр, закрытый с одного конца, — состоит из двух деталей: гильзы и наковальни. Последняя своей конической частью запрессована в гнездо гильзы. В полости корпуса размещен ударник с передними и задними направляющими поясками. В передних сделаны вырезы для прохода сжатого воздуха. В хвостовой части ударника имеется патрубок, который через резьбо-

вое соединение опирается на хвостовую гайку. С помощью гибкого шланга подводится сжатый воздух.

Под действием сжатого воздуха ударник совершает возвратно-поступательное движение и бьет по наковальне. Удары заставляют корпус — рабочий орган пневмопробойника — внедряться в грунт. Он зажимается в нем и не может поэтому двигаться обратно. Ударник как бы вколачивает его в горную породу. За собой устройство оставляет скважину, образующуюся в результате уплотнения стенок. Если нужны скважины с диаметром, превышающим диаметр пневмопробойника, применяют расширители.

Возвратить пневмопробойник к месту старта можно, изменяя направление ударов. При прямом ходе машины удары наносятся по передней части корпуса, при реверсе — по хвостовой части, что заставляет снаряд двигаться назад уже по готовой скважине.

Диаметр скважин может достигать 500 мм, скорость проходки — до 50 м/ч в зависимости от крепости грунта.

Советские пневмопробойники проверены в самых различных эксплуатационных условиях. Одна из интересных проходок — прокладка водопровода к размораживающему устройству вагоноопрокидывателя. Под шестью действующими железнодорожными путями пневмопробойником забили стальную трубу диаметром 100 мм и длиной 46 м. Затем в ней был протянут водопровод для подачи горячей воды от ТЭЦ к размораживающему устройству.

На Назаровской ГРЭС скважины были пройдены под действующим трансформаторным пунктом, железной и автомобильной дорогами. Здесь же пробито 2 км скважин на территории заповедника и ни одно дерево не было повреждено.

Под улицей Советской в Новосибирске пробит пучок скважин, расположенных одна около другой. В первую скважину диаметром 135 мм уложили стальную трубу меньшего диаметра. А следующую проходили рядом между трубой и стенкой готовой скважины. Затем клали следующую трубу, и так до шести.

Помимо сооружений подземных коммуникаций пневмопробойники могут быть применены в строительстве для пробивания скважин под набивные сваи, образования водонепроницаемых перемычек, уплотнения грунтов,

забивания электродов контуров заземления или электродов для оттаивания мерзлого грунта, забивания и извлечения металлических труб и т. п.

Сотрудники Института горного дела СО АН СССР и Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта предложили оригинальное устройство для выработки полости под винтовую сваю: пневмобойник и подвижно соединенный с ним винт. При углублении винт вращается вокруг продольной оси под действием реактивного момента и образует винтовую полость. После извлечения устройства и заполнения полости бетоном образуется винтовая набивная свая. Во время испытаний удалось получать горизонтальные и вертикальные скважины диаметром 300 м. Скорость движения пневмобойника составляла 3—6 м/ч.

При некоторых видах строительных и гидротехнических работ требуется соорудить гидроизоляционные экраны. Обычно готовят щели с помощью буровых станков, машин с цепными рабочими органами и т. д. Для тех же целей предложено устройство из пневмобойника и двух крыльев с установленными на них цилиндрическими корпусами. Один корпус — полый, для проходки сквозь него направляющей штанги. Под ударами пневмобойника устройство образует канал длиной, равной размаху крыльев. После образования одной щели оно запускается рядом по направляющей штанге. Через некоторое время образуется сплошная щель нужной длины и конфигурации, например, длиной около 5 м и глубиной 2,5 м.

Пневмобойники удобны для строительства в зоне вечной мерзлоты. Они, например, забивают электроды в грунт для его разогрева в зимних условиях. В управлении Сибэнергостроймеханизация был испытан такой способ проходки и последующего расширения скважин в мерзлых грунтах: сначала пробивали скважину диаметром 130 мм, затем ее стенки нагревали коаксиальным нагревательным элементом и расширяли до диаметра 200 мм.

Опыт показывает: пневмобойники способны преодолеть различные препятствия. При проходке скважины в Новосибирске была пробита кирпичная стена толщиной 700 мм. В Одессе пневмобойник преодолел железобетонный коллектор толщиной 150 мм. Это открывает неожиданные области применения для само-

передвигающихся ударных механизмов: прокладка скважин для подачи воздуха в заваленные пространства.

В горном деле, особенно при строительстве предприятий горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности, пневмобойники могут быть использованы для отбойки полезных ископаемых от массива, обрушения рудной массы в горных выработках, формирования откосов, осушения бортов карьеров, горноспасательных работ и т. п.

Основной вид разрушения в горной промышленности — резание, для чего служат разнообразные рабочие органы в виде резцовых головок, фрез, режущих поверхностей. При резании решающая роль отводится деформации сжатия и сдвига. Это энергоемкий процесс, требующий до 40—50 кВт·ч для дробления 1 м³.

При разрушении горных пород способом «отрыва» основными являются деформации растяжения: предел прочности при растяжении во много раз меньше предела прочности при сжатии. Именно поэтому энергоемкость процесса разрушения пород средней крепости способом отрыва составляет 0,01—0,1 кВт·ч/м³. Дополнительные выгоды — уменьшается количество пыли, увеличивается крупность отделяемых кусков.

В Институте горного дела им. А. А. Скочинского изучили процесс отрыва угля клиньями и дали ему хорошую оценку. Зарубежные эксперименты также подтвердили перспективность данного метода. Однако горная промышленность не располагала устройствами, способными реализовать метод на практике.

В Институте горного дела СО АН СССР предложили для этих целей использовать механизм с пневмобойником. Рабочий орган — сменный расширитель, закрепленный на хвостовой части корпуса пневмобойника. Все устройство движется по готовой скважине под действием пневмоударника. Утолщенная часть (расширитель) воздействует на стенку скважины и отламывает слои уже от массы. Так, проходя по целому ряду скважин, параллельных обнаженной поверхности забоя, удавалось отрывать угольные слои толщиной до 1 м.

Экспериментальные работы показали, что разрушать уголь можно и без предварительно пробуренных скважин, сразу запуская пневмобойник в его толщу.

На Назаровском карьере таким способом удавалось отбивать слои угля толщиной до 1,2 м.

При некоторых системах добычи полезных ископаемых рудные или угольные куски транспортируются по вертикальным или наклонным выработкам. В таких случаях неизбежно образуются пробки, зависания, избавляться от которых трудно и опасно, иногда приходится даже прибегать к взрывчатым веществам. Но сегодня ликвидировать зависания можно с успехом с помощью пневмопробойников. Создано специальное устройство, в которое входят также фрикцион, трос и лебедка. Фрикцион составляют две колодки, одна неподвижно присоединена к корпусу пневмопробойника, вторая, подвижная, прижимается к канату с помощью пневматической камеры.

Работает устройство следующим образом. Предварительно в выпускной выработке подвешивают трос, один конец которого крепится к щитовому перекрытию, другой — к лебедке в откаточном штреке. Рудо- или угле-спуск пропускает руду или уголь — трос висит свободно. При образовании пробки он натягивается лебедкой и по нему пускают устройство. Под действием толчков пневмоударника оно подтягивается по тросу до завала и начинает долбить его, постепенно отрывая застрявшие куски.

Предложен способ разработки высоких уступов с помощью пневмопробойников. Уступу придается нужный наклон, затем бурится линия параллельных наклонных скважин. Ослабленный ими слой подрезается пневмопробойником. Порода обрушивается. Способ применим и для обрушения козырьков грунта, образующихся при работе экскаватора, до которых его ковш дотянуться не может.

При геологоразведочных работах пневмопробойники способны проходить взрывные скважины для создания траншей взрывом на выброс, каротажные скважины, а также служат источником мощных ударных импульсов при сейсморазведке.

Пневмопробойник можно использовать в качестве ударного узла в механизме для отбора проб грунта в скважинах. В механизме предусмотрены грунтоприемные трубки с наконечниками, соединяющие ударный узел с грунтозаборной частью. Передние кромки наконечников направлены вперед и в стороны: они захватывают еще неуплотненный грунт.

Отбирают пробы при движении механизма в прямом направлении. После заполнения трубок он возвращается по скважине назад. Описанный механизм гораздо проще устройств аналогичного назначения — обычных буровых станков с приспособлениями для взятия проб.

Осушение, орошение, аэрация почв, борьба с засолением, строительство артезианских и лучевых колодцев — все эти виды мелиоративных работ требуют проходки скважин. Пневмопробойниками уже осуществляют вертикальный дренаж, перепускают грунтовые соленые воды в нижние горизонты, проходят вертикальные скважины для подземного водозабора. При неустойчивом грунте пневмопробойники затаскивали в скважины обсадные трубы, причем вода в скважинах не была преградой.

Помимо погружных устройств пневмоударного действия, известны устройства, действующие по принципу «дождевого червя». Одно из них уже изготовлено в Киеве изобретателем А. Любарским и во многих опытах доказало свою работоспособность.

«Червь» — это гибкая кишка длиной более 2 м из эластичных секций диаметром 64 мм: 7 основных и 2 вспомогательные. Каждая секция, по сути дела, резиновый бублик, внутренней стороной прикрепленный к металлической трубе. Между собой бублики герметично соединены, и громадный червь надежно защищен от попадания грунта вовнутрь. В каждой резиновой секции через 3—5 мм проложены стальные тросики. Они находятся в теле оболочки, внутри резины. Тросики идут вдоль трубы, и один их конец закреплен. У «червя» есть также острый металлический нос, напоминающий обтекатель ракеты. Другой конец открыт, через него во внутреннюю полость «червя» идут шланги, по которым подается рабочая жидкость.

Рабочий ход устройства начинается с наполнения оболочек основных секций. Они расширяются только в стороны, когда их заполняет жидкость (и не могут вытягиваться вдоль — не пускают металлические нити), и плотно прилегают к стенкам скважины. В этом изюминка изобретения.

Далее жидкость подается в гидроцилиндр. Его корпус, на котором «сидят» две вспомогательные секции и

нос, продвигается вперед. Нос вдавливается в грунт, уплотняет его. Передняя часть находит надежную опору для шага — 7 основных оболочек. Продольное толкающее усилие воспринимается и нитями, и они снова не дают деформироваться основным секциям. Так совершается рабочий ход.

После этого распределитель переключается, и основные оболочки опорожняются. А первые секции наполняются и укрепляются в скважине. Очередная команда — шток гидроцилиндра начинает подтягиваться вперед. Вместе с ним подтягиваются и основные оболочки, которые к нему прикреплены. Занято исходное положение.

Опыты подтвердили плодотворность идеи: в мягком грунте червь проделывал скважину со средней скоростью 6 м/ч. Его выгодно использовать при прокладке осушительных каналов, протаскивании синтетических трубок, образующих дренажную систему.

Буровая — автомат

В 1980 г. длина всех нефтеразведочных скважин, возможно, составит 25 млн. м. Не менее половины этого объема придется на глубокое бурение. Чтобы проложить в земной коре такое количество разведочных ходов, понадобится примерно 4600 установок. Обслуживать их будут 105 тыс. буровиков. А если учесть всех занятых этой работой, то цифра возрастет до 200 тыс. человек.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте методики и техники разведки были исследованы пути повышения производительности труда, позволяющие выполнить будущие планы без увеличения числа работников. Первый путь: создание новых технических средств, которые помогли бы провести разведку недр, не увеличивая количество буровых установок и тем самым работающих на них. Значит, производительность предстоит поднять к 1980 г. вдвое.

На долбление в среднем уходит 14,8% производительного времени, на спуск-подъем — 14,7, на крепление — 5,2%, вспомогательные работы занимают 24,9%, ремонт — 6,4, поломки — 9,6, простои — 16,4% (данные 1969 г., но порядок и сегодня примерно тот же).

Можно лучше организовать труд и полностью ликвидировать простои, вдвое сократить время на ремонтные работы — производительность буровых установок возрастет на 25%. Повысим число проходок на долото в 2 раза и благодаря сокращению времени на спуско-подъемные и вспомогательные операции добудем еще 12—13%. Такие мероприятия (к тому же весьма сложные) не дают требуемого — двойного — увеличения производительности буровых установок. Да пока и не

просматриваются технические и организационные решения, позволяющие осуществить все это в ближайшие годы.

Сотрудники лаборатории автоматизации и механизации бурения, возглавляемые А. М. Котляровым, избрали другой путь: сократить численность буровых бригад, сохранив при этом достигнутый уровень производительности или превзойдя его.

Первое предложение: механизировать все процессы бурения. Вот, например, основные операции: сборка утяжеленных бурильных труб, спуск бурильной колонны, долбление, наращивание и подъем бурильной колонны, разборка утяжеленных бурильных труб. В каждой принимают участие не менее 3—4 человек, по существу, вся вахта. Скажем, сборка утяжеленных бурильных труб предусматривает подтаскивание труб к буровой, надевание вспомогательного патрубка, небольшой подъем трубы, чтобы одеть на нее элеватор, подъем, навертывание и закрепление трубы, спуск в скважину и т. д. А такая вспомогательная операция, как спуск в скважину обсадных труб, требует 8 человек. Если же механизировать большую часть операций, то с бурением сможет справиться вахта из 2 человек.

Однако возрастет ли производительность труда, когда полностью будет исключен ручной труд и на долю буровиков останется только управление механизмами буровой?

Бурение — процесс многооперационный. Буровики, окруженные шеренгой новых устройств, будут ходить от одного к другому и поочередно выполнять операцию за операцией. Смогут ли они проводить их с такой быстротой, на которую рассчитывали авторы этих новых устройств? Смогут ли они совмещать операции, как это частично удавалось раньше вахте из 4 человек?

Расчеты показали, что в таком варианте производительность новой буровой окажется ниже: на бурильщика ляжет непосильная нагрузка по управлению большим количеством механизмов, и на совмещение операций в этой ситуации трудно рассчитывать.

Вывод: комплексно механизированная буровая установка освободит рабочих от ручного труда, но производительность на ней поднять не удастся. Этот вывод, в частности, подтвердила работа буровых устройств, которые довольно успешно механизировали выполнение

некоторых видов работ. Например, есть комплекс, ускоривший проведение спуско-подъемных операций, но в целом производительность бурения его внедрение увеличило незначительно.

Итак, комплексная механизация процесса бурения невыгодна потому, что требует больших затрат на управление. Она приносит выигрыш только в области физических нагрузок и ничего — во времени. Человек как «управляющий орган» не всегда оказывается совершенным.

Человек выполняет в основном две функции. Первая — включить в работу каждый механизм, фиксировать выполнение механизмом своей задачи, отключить его и ввести в работу следующий... Вторая — исполнять обязанности задающего устройства, чувствительного элемента, формирователя команды, исполнительного механизма и т. д. Как справляются с подобными делами рабочие? Ответ дали психологи. На восприятие и обработку информации о сделанной машинной операции уходит 0,3—0,8 с (в зависимости от способностей человека), на принятие простейшего решения: выбрать одно из двух — 0,2—0,5 с, на движение руки к рукоятке или кнопке — 0,1—0,2 с, на включение — 0,5—1 с, на поворот головы, сопровождающий включение или выключение, — 0,7—1,6 с. Так оценили психологи этапы одной операции. А в сумме получается: каждая операция управления требует от 2,4 до 5,3 с. Такой разброс нормален.

Бурильщик, осуществляющий спуск-подъем бурильной колонны, должен провести примерно 35 операций управления. Простое умножение показывает, что мастер своего дела потратит на это 84 с, а его менее расторопные коллеги — в 2 раза больше. Время на управление — это время простоя для механизмов, оно растет по мере углубления скважины — ведь люди постепенно устают. Психофизиологические различия людей — одна из причин того, что средние показатели буровых организаций страны различаются в 8—9 раз. Еще больше разброс при сравнении отдельных буровых бригад, которые могут даже работать в одних и тех же условиях.

Человек еще и по другой причине неполно использует буровое оборудование. Имеются, например, установки со скоростью подъема буровой колонны 2—3 м/с. Но

их возможности пока не используются. Бурильщик не может так быстро работать без риска аварии: не может плавно включить лебедку на подъем, в течение 8—10 с следить за скоростью навивки каната, плавно затормозить, доведя колонну до заданного положения, включить тормоз в течение 3—4 с и т. п. Бурильщик не выдерживает такого темпа и снижает скорость подъема, а тем самым и коэффициент использования мощности установки. Такие же выводы были получены относительно других процессов бурения. Их подтвердил анализ проходки 100 скважин глубиной 2400—3200 м.

Окончательный вывод, к которому пришли специалисты: не ускорение машинных операций, а ускорение операций управления значительно поднимет производительность труда. Решить эти задачи может только комплексная автоматизация бурения.

Несколько лет назад на испытательном полигоне под Ленинградом состоялись приемочные испытания буровой установки Ленинградец. Она предназначалась для бурения скважин глубиной до 2000 м, управлять ею могла вахта из двух человек. Исследования экспериментальной модели показали полное преимущество комплексной автоматизации. Устранение человека из процесса управления позволило добиться такой быстроты, точности, такого высокого качества работы, которые оказались выше, чем у самой хорошей бригады, идеальной по сработанности и психофизиологическим данным. Комплексная автоматизация открыла новые горизонты: дала возможность беспредельно увеличивать скорость проведения скважин. Причем качество работы почти не зависело ни от времени суток, ни от погоды и, главное, ни от глубины забоя.

Для человека же «эффект глубины» трудно преодолеть. С углублением скважины растут риск аварии и стоимость ее ликвидации. У буровиков возникает состояние «подавленности ответственностью», что ведет либо к нерешительным действиям, либо к чересчур смелым поступкам. И в том и в другом случае вероятность аварии увеличивается. Автоматы снимают с буровика психологические нагрузки, он превращается в оператора, полностью доверяющего приборам на пульте управления.

Проходит испытания более мощная буровая установка Уралмаш-125А, способная бурить скважины глуби-

ной до 4000 м. Это первая в мире полностью автоматизированная буровая — прообраз тех, что согласно решениям XXV съезда КПСС будут внедряться в народное хозяйство.

Комплексно автоматизированы следующие наиболее трудоемкие работы: поддержание заданного режима бурения, спуско-подъемные операции, операции наращивания буровой колонны, включая работу с ведущей штангой, спуск и подъем утяжеленных труб. Менее трудоемких операций коснулась комплексная механизация с частичной автоматизацией. Имеются в виду крепление скважин, подача на ось скважины и спуск в нее различного инструмента, в том числе забойного и скважинного оборудования, сборка свечей и их разборка с погрузкой на транспортные средства, смена долот, работы по приготовлению и поддержанию заданных параметров промывочной жидкости.

Управляет автоматизированной буровой оператор-бурильщик, сидящий за пультом управления, который расположен в отдельном помещении. Он получает информацию от 40 датчиков, контролирующих ключевые точки технологии. К нему теперь поступает такое количество сведений, которое он не мог получать ранее, находясь на буровой.

Поступающая информация отображается на П-образном пульте. На передних панелях фиксируются наиболее важные сведения: вес инструмента на крюке, нагрузка на долото, механическая скорость, скорость вращения ротора, момент ротора. На правой панели размещены органы управления спуско-подъемными операциями, вариаторы скорости спуска талевого блока, индикаторы количества бурильных и утяжеленных труб в скважине и т. д. Левая часть пульта предназначена для управления циркуляционной системой. Кроме того, перед оператором расположена мнемосхема с пространственным расположением устройств, участвующих в спуске-подъеме, оно также показывает связь между емкостями, дозаторами и насосами циркуляционной системы.

Предусмотрены три режима работы: наладочный, полуавтоматический и автоматический. Последний, например, позволяет спускать и поднимать бурильную колонну от одной команды вне зависимости от глубины скважины.

Буровой автомат существенно преобразует сложное буровое хозяйство. Представим трест, располагающий, к примеру, 20 установками для глубокого бурения. По сути дела, это заводы «во чистом поле», разбросанные на большой территории. Бурильщик — глава вахты — оторван от инженеров и технологов треста, предоставлен самому себе. В свою очередь, руководство треста не может оперативно контролировать процесс бурения каждой буровой, не может вовремя изменить тактику проходки.

С автоматизированной буровой нужна информация может поступать непрерывно по каналам связи прямо от датчиков и на любое расстояние. Она попадает в электронно-вычислительную машину: естественно, что обратно по каналам связи проследуют рекомендации по поддержанию оптимальных режимов проходки. Эти рекомендации будут очень точными, поскольку машина в состоянии учесть любое количество факторов, влияющих на бурение. Такая система может охватывать организации крупнее треста — возможности ЭВМ в этом смысле очень широки.

Другое следствие автоматизации, возможно, более значительное, чем предыдущее: к геологоразведочному бурению вернется первоначальная цельность. Буровики нередко упрекают геологов: они требуют все время керн, и это задерживает проходку и тем самым выполнение плана. Буровики часто отодвигают геологические задачи на второй план, бурение для них становится самоцелью, способом углубиться в недра на плановое количество метров. Между тем задачи у разведочного бурения совсем другие.

Информацию, поставляемую многочисленными датчиками Уралмаша-125А для оптимальной проводки скважины, нетрудно использовать и геологам, надо только научиться толковать ее с геологических позиций. Вот, например, датчик механической скорости бурения: он показывает, как меняется скорость вращения буровой колонны. В более крепких породах она меньше, в тех, что слабее, начинает увеличиваться. Тут скрыта информация для геолога: крепость горных пород — одна из важнейших их характеристик. Если же датчик показывает колебания на какой-то глубине, то это означает, что там породы переслаиваются. Еще одна важная характеристика пачки слоев, вскрытых скважиной.

Датчик крутящего момента на роторе, который вращает всю колонну бурильных труб, также сигнализирует о сопротивлении пород — о «буримости». Колебания показаний датчика указывают на их (пород) неоднородность. Датчик дифференциального расхода промывочной жидкости следит за тем, сколько жидкости закачивается в скважину и сколько из нее возвращается на поверхность. Если разница невелика, то породы, в которых пролегла скважина, плотные, не трещиноватые. Разрыв растет — скважина вошла в раздробленные области. Чем больше расхождение, тем больше раздроблены горные породы. Датчик удельного веса промывочного раствора предупреждает об его изменениях при выходе из скважины на поверхность. Вырос удельный вес — значит раствор что-то принес с собой, какие-то минералы на глубине растворились. Можно определить, какие именно.

Каждый датчик в отдельности не может сообщить исчерпывающих сведений, он дает только штрих общей картины. Но суммированные показания способны обрисовать положение в недрах достаточно полно. Обобщить эту информацию предстоит ЭВМ.

Эпизод из недалекого будущего: геолог запрашивает ЭВМ и получает в ответ геологический разрез, построенный по показаниям датчиков автоматизированной буровой установки.

Эпизод из отдаленного будущего: геолог запрашивает ЭВМ и получает в ответ геологический разрез определенного района, построенный по данным нескольких автоматизированных установок. На нем четко обозначены куполовидные структуры, среди них — перспективные на нефть и газ. Эта картина объективна — она нарисована машиной, а не людьми, которые, как известно, могут трактовать одни и те же данные несколькими способами. Так сольются в единое целое наука и производство, геология и буровое дело.

Лавина перемен пройдет следом за внедрением автоматизированных буровых установок, первой из которых станет Уралмаш-125А, и все последствия автоматизации бурения трудно предвидеть.

Кольская сверхглубокая

Закончен первый этап бурения скважин СГ-3 — Кольской сверхглубокой, она углубилась в недра на 8000 м.

Является ли это достижение выдающимся?

На Украине пробурена скважина Шевченковская-1 глубиной 7024 м. Наверное, не менее десяти скважин в разных местах Советского Союза превысили 6 тыс. м. Наиболее глубокая скважина в мире пройдена в США — 9583 м. В таком окружении Кольская сверхглубокая кажется обычной, одной из многих сверхглубоких.

Однако есть другая точка зрения, основанная не на простом сопоставлении пробуренных метров. Она утверждает, что СГ-3 — рекордная скважина и в техническом, и в научном отношении.

Мощность земной коры неодинакова. Под океанами она не превышает 20 км, в некоторых местах утончается до 5 км. На континентах под горными хребтами толщина земной коры может достигать 75 км и уменьшается до 20 км в районах древней складчатости. Не удивительно, что ее называют «кожей» Земли.

Несмотря на незначительную толщину, «скорлупа» Земли остается недоступной прямым исследованиям. Основные сведения о ней получены геофизическими методами. Так, например, по отраженным сейсмическим волнам установлено, что земная кора слоистого строения. Континентальная состоит из осадочного, гранитного и базальтового слоев, в океанской гранитный слой отсутствует. Ниже земной коры сейсмические наблюдения выделили мантию, а в центре Земли — ядро.

Для исследований применяются также гравиметрические, магнитометрические, ядерные, геотермические

методы. Они позволяют определить плотность горных пород на большой глубине, установить аномалии силы тяжести, распределение магнитных масс, температуру — десятки глубинных параметров. И все же специалистов в области наук о Земле не могут удовлетворить только геофизические данные: они не помогают однозначно решить основные вопросы геологии, которые не имеют ответа уже многие десятилетия. Эти вопросы стали «вечными». Только прямое проникновение в недра поможет, наконец, снять их с повестки дня.

Кольская сверхглубокая заложена на Балтийском кристаллическом щите — древнейшем образовании, которое на территории Скандинавского и Кольского полуостровов, Карелии, Балтийского моря и на части Ленинградской области близко подходит к земной коре. Щит сложен древними, сильно измененными породами: архейскими гнейсами, кристаллическими сланцами, интрузивными породами возрастом до 3,5 млрд. лет.

Сверхглубокой скважине предстоит пронзить кристаллический щит. Ученые получат доступ к глубинному веществу, смогут детально изучить его десятками способов. Они проведут наблюдения по всей длине скважины и построят реальный, а не предполагаемый разрез земной коры на всем ее протяжении, точно установят глубину залегания мантии, состав и физическое состояние ее вещества.

Пройдена часть пути до проектной отметки. Это своеобразный рекорд: впервые скважина прошла такое большое расстояние не в молодых осадочных образованиях, а в древних кристаллических породах.

Как сказано в журнале «Наука и жизнь» Кольская сверхглубокая стала экспериментальным полигоном, где испытывается новая буровая техника и технология буровых работ.

Бурение глубокой скважины, тем более сверхглубокой — сложное и дорогое мероприятие. В мировой практике глубокие скважины бурят очень мощными и дорогими установками грузоподъемностью 600—800 т. Таких установок изготовлено до сих пор всего несколько штук.

Проект Кольской сверхглубокой предусматривает проводку скважины до определенной глубины с помощью обычной буровой установки. При этом сохраняется классическая схема разрушения и выноса породы на поверхность земли, но применяются новые техноло-

гические приемы, некоторые новые инструменты и, главное, новый подход к проблеме глубокого бурения.

Важнейший элемент в комплексе оборудования — буровые насосы, заставляющие буровой глинистый раствор под большим давлением двигаться вниз по бурильным трубам, а затем вверх по кольцевому зазору между колонной труб и стенками скважины. Энергия насосов преобразуется в полезную работу турбобура, вращающего на забое долото, и обеспечивает подъем разбуренной породы на поверхность земли. Выходящий из скважины раствор очищает от кусочков породы и вновь закачивают в бурильные трубы. Циркуляция идет по замкнутому циклу.

Износилось долото — поднимают всю колонну, навинчивают новое и в обратном порядке опускают «свечи» в скважину. Таких рейсов при бурении глубоких скважин долото делает несколько сотен; а при проходке сверхглубоких — более тысячи! При этом надо сохранить вертикальность ствола в пределах определенных допусков, своевременно закреплять вскрытые породы обсадными трубами, отбирать с забоя керн, проводить комплекс внутрискважинных геофизических исследований и многие другие работы.

Обычно глубокую скважину начинают бурить долотом большого диаметра. Бурение ведут до тех пор, пока в скважине не появляются какие-либо осложнения (приток воды, нефти и газа, утечка бурового раствора, обвалы стенок), делающие невозможным дальнейшее углубление. Тогда в ствол спускают специальные трубы, а пространство между трубами и стенками скважины заливают цементным раствором. Теперь скважина надежно защищена, и бурение можно продолжать (долотами несколько меньшего диаметра) до тех пор, пока что-либо еще не преградит путь долоту. В скважину спускают и цементируют еще одну колонну труб меньшим диаметром, чем первая.

Для СГ-3 требовалось разработать такую технологию, которая обеспечивала бы свободу маневра в случае каких-либо осложнений на глубине. Была предложена новая технологическая схема — бурение опережающим стволом.

Сверхглубокую начали проходить долотом диаметром 920 мм, углубились на 40 м и обсадили пройденный отрезок диаметром 720 мм. Затем в отличие от об-

щепринятой технологии спустили в скважину еще одну металлическую колонну диаметром 245 мм. Ее не укрепляли и не цементировали. Получилось нечто вроде защитного чехла — колонна в колонне. При этом внутреннюю, незацементированную, при необходимости можно извлечь. И только после этого по новой технологии началось продвижение в недра открытым стволом. Диаметр бура взяли небольшой (214 мм). Это дает, во-первых, наилучшие технико-экономические показатели, а во-вторых, если где-то на глубине встретится осложнение (каверна, водоносный слой и т. п.), то ствол можно будет расширить и перекрыть.

Таким образом, стратегией бурения предусматривалась проходка открытым опережающим стволом на максимальную глубину при минимальном диаметре долота.

Когда шло бурение на глубине 5300 м, на отметке 1800 м начались опасные кавернообразования — разрушение породы. Маневр бурильщиков состоял в том, что скважину с 40 до 2000 м расширили долотами диаметром 394 мм, а затем весь участок обсадили 325-миллиметровыми трубами. Место, на котором произошло осложнение, оказалось за металлической стенкой.

Теперь сверхглубокая стала похожей на телескоп: до 40 м шло его широкое основание, дальше до 2000 м выдвинулась труба диаметром поменьше. Удлинилась и съемная колонна — обсадные трубы диаметром 245 мм продлили до 2000 м.

Стратегия бурения предусматривала как более глубокое бурение долотами наименьшего диаметра — 214 мм. Вот почему в ход пустили то же долото и достигли глубины 7263 м. Впервые в мировой практике проходка «голым» стволом составила более 5200 м.

Незацементированные трубы съемной колонны 245 мм — первая оборонительная линия. Внутри движется вверх-вниз буровой инструмент, течет буровой раствор. Конечно, трубы изнашиваются, протираются, но зато не изнашиваются стоящие за ними цементированные трубы. Их-то извлечь нельзя, и если бы они оказались протертыми, то достичь проектной глубины было бы невозможно. А съемную колонну можно заменить. По окончании первого этапа ее и извлекли — трубы оказались с предельным износом.

Кольская сверхглубокая пробурена турбобурами ти-

па А7Н4С. Это тихоходный и высокомоментный забойный двигатель. В тихоходности его достоинство, он обеспечивает близкий к оптимальному режим бурения и тем самым увеличивает проходку за рейс.

Когда только начиналась Кольская сверхглубокая, высказывались мнения о непригодности турбинного способа бурения на глубинах более 5—6 км. Но вот достигнут более глубокий рубеж, и достигнут с помощью турбобура. Вращается турбобур потоком промывочной жидкости, приходящим сверху, а вся колонна неподвижна. Именно это позволило использовать на таких глубинах бурильные трубы из алюминиевых сплавов.

Погонный метр такой трубы весит 16 кг, а стальной — в 2,4 раза больше. Поэтому 7-километровая колонна труб из алюминиевых сплавов весит 100 т, а стальная — 240 т. Эта выгодная разница в весе позволила бурить скважину стандартной буровой установкой.

Кроме того, легкая колонна меньше изнашивает обсадные трубы, ее можно быстрее поднимать, да и бригаде работать с ней легче. На такой глубине «легкосплавные» трубы применены впервые.

При бурении глубоких скважин одно из обязательных и довольно трудновыполнимых требований — соблюдение их вертикальности. Косо расположенные пласты горных пород незаметно уведут бур в сторону, и скважина искривляется. А это сразу же дает массу неприятных последствий: изнашиваются бурильные, обсадные трубы и стенки открытого ствола; при подъеме из скважины бурильная колонна из-за сил трения становится намного «тяжелее» и т. д.

Проект СГ-3 предусматривал: каждый километр скважины может отклониться в сторону не более чем на один градус. И это в таких горных условиях, когда рядом пробуренные поисковые скважины уже на глубине 1—1,5 км давали крен на 20—30 градусов!

До 2100 м ствол скважины удерживали в вертикальном положении с помощью жестких забойных компоновок (особых колец, надетых на турбобур и упирающихся в стенки ствола). Но ниже на стенках стали появляться каверны, и компоновки оказались бессильными против искривления ствола. Применили турбинный отклонитель. Он работает под надзором телеметрической системы, моментально улавливает намечающуюся кри-

визну и выводит скважину на прямую, то есть вертикальную, дорогу.

Но вот забой достиг 5 км. Мастера пытаются поворотом колонны установить турбинный отклонитель в соответствии с показателями телеметрии «против кривизны», но колонна скручивается в верхней части и неподвижна в нижней. Повернет мастер колонну сильнее — вся многокилометровая пружина раскручивается, а отклонитель проскакивает нужное положение. Слишком большая длина колонны оказалась непреодолимым препятствием для такой технологии борьбы с естественным искривлением сверхглубокой.

Решили применить забойную компоновку с усиленным маятниковым эффектом. Под турбобуром установили тяжелую, заполненную свинцом, трубу, которая под действием силы тяжести выводит его на вертикальную прямую. А сейчас в институте разрабатывается автоматический выпрямитель скважины — принципиально новый тип забойной компоновки для борьбы с кривизной.

Образцы породы в виде цилиндрических столбиков диаметром 60—80 мм выбуриваются бурголовкой (долото, предназначенное для отбора керна), при этом периферийная кольцевая часть забоя разрушается. В идеальном случае керна должен продвигнуться в буровой снаряд и попасть в колонковую трубу. В ней он совершит путешествие наверх.

Но на большой глубине все происходит по-иному. Столбик породы, выбуренный из массива, взрывается. Его раздирают внутренние силы, порожденные сильным сжатием. Подобное наблюдали экипажи судов, исследовавшие образцы пород со дна океана. Они складывали вынутые со дна моря образцы на палубе, а ночью просыпались от неожиданной стрельбы: образцы трескались.

Керн разрушается, и его отдельные неровные и твердые кусочки забивают проход в колонковую трубу. Проскочить в нее успевает немного — не более 5—10% того, что имеется. Скажем, пробурят 8—10 м (столбик такой длины может уместиться в трубе), а наверх поднимают меньше метра драгоценных образцов.

Чтобы забирать на глубине большой столбик грунта, был создан новый колонковый снаряд. Он устроен так, что промывочная жидкость, которая при обычной

конструкции, омыв забой, по затрубному пространству возвращается наверх, здесь частью направляется в керноприемную трубу. Жидкость подхватывает кусочки горной породы и укладывает их в колонковом снаряде.

Отбор керна — тонкая и трудная работа. Буровики, как правило, не любят отбирать керн, а геологам он-то и нужен больше всего. В обычной разведочной скважине на нефть и газ берут керна 3—5 см от пробуренного метра. Кольская скважина бурится с полным отбором керна. Именно в максимальном извлечении керна и скрупулезном его исследовании — главная цель проходки этой скважины.

...Итак, закончен первый этап бурения Кольской сверхглубокой, на 1976—1980 гг. планируется второй — скважина должна выйти на более глубокую отметку. Кроме того, за это время должны быть решены проблемы подготовки к третьему этапу бурения. Что ждет буровиков на больших глубинах? Уже сейчас на забое температура 403 К, а ее ждали лишь на 15-километровой отметке. А давление на забое — $8 \cdot 10^7$ н/м².

На 15 км следует ожидать около 600 К и давление 1600—1800 атмосфер. В таких условиях процесс бурения, безусловно, замедлится, возможно, что стенки скважины потеряют прочность. Трудно предположить, что в этом пекле смогут работать современные забойные двигатели, легкосплавные дюралюминиевые бурильные трубы, геофизические и другие приборы. Вряд ли будет пригоден буровой раствор, приготовленный на воде.

Сейчас на месте прежней буровой установки смонтирована новая — Уралмаш-15000, созданная Уралмашзаводом по новому техническому заданию. На уникальной буровой будут использованы образцы интересного оборудования, здесь впервые пройдут испытания новые устройства и технологические приемы, разработанные на первом этапе работ. Так, в условиях сверхглубокого бурения будет апробирован метод бурения без подъема колонны бурильных труб.

Если испытания пройдут успешно, то резко сократится время на спуск и подъем колонковой трубы, уменьшится износ бурильных труб — им не придется курсировать вниз и вверх, от чего меньше вреда будет стенкам и обсадным трубам. Каждый спуск колонны бурильных труб в скважину — сильный гидравлический удар, который значительно ослабляет горные породы.

Частые подъемы буровой колонны нарушают температурный режим в скважине, что также снижает прочность горных пород. Съемное долото и новая технология позволят «обойти» эти трудности.

Появятся на Кольской скважине новые бурильные трубы. Их стенки станут толще, изменится и резьба на концах — слабое место в свинченной буровой колонне. После 10-километровых глубин понадобятся трубы из термостойких материалов.

Сейчас трудно рассказать обо всех нововведениях, которые найдут применение на втором этапе бурения Кольской сверхглубокой. Многое появится в процессе бурения, будет рождено самой работой так же, как это было при проходке первых 7263 м.

Не только керн из Кольской сверхглубокой интересовал геологов. Они тщательно изучили каждый метр скважины на всем ее протяжении. В нее опускались десятки самых различных приборов, которые исследовали физические свойства горных пород на всех глубинах.

Неожиданная информация была получена с помощью акустического каротажа. Раньше считалось, что на больших глубинах скорость сейсмических волн растет из-за уплотнения горных пород. Это не подтвердилось — на семикилометровой глубине сейсмические волны движутся медленнее, чем в приповерхностных слоях.

Не подтвердилась и гипотеза о температурном градиенте. Она предполагала, что в древних кристаллических образованиях температура недр с глубиной повышается: каждые 100 м на 1 градус. Так и было до 2000 м. А ниже температура росла гораздо быстрее. По расчетам на глубине 7 км температура должна бы быть около 320—330 К, а оказалась 393 К.

На глубине 6350 м в скважине был открыт... родник рассола! Никто из специалистов такого не ожидал. Считали, что на этих глубинах горные породы непроницаемы, лишены водных растворов, газов. Кольская сверхглубокая обнаружила на больших глубинах и газы. В докембрийских породах обнаружены углекислый газ, гелий и углеводороды. Более того, в горных породах возрастом около 2 млрд. лет найдены остатки живых организмов — микрофассилий. Горизонты, которые считали мертвыми, оказались живыми, в них движутся газы, различные растворы.

В глубине кристаллического щита встречены зоны разуплотнения горных пород. Это можно объяснить горизонтальным движением отдельных слоев друг относительно друга. Снова неожиданная информация, которая повлияет на теоретические построения в области тектоники земной коры.

Уже первые данные убеждают: скважина внесет много нового в геологическую науку. Кольская сверхглубокая в значительной степени поможет решить одну из больших, серьезных задач, поставленных десятой пятилеткой перед геологами: расширить изучение земной коры и верхней мантии Земли в целях исследования процессов формирования и закономерностей размещения полезных ископаемых.

**Бурит тепло, вода,
взрыв, электромагнит...**

До сих пор мы рассказывали о механических способах бурения, при которых горную породу разрушают «твердыми» инструментами различных типов. Эти способы, несомненно, имеют большие резервы, и их совершенствование в дальнейшем скажется на всех показателях бурения. Однако у них есть несколько принципиальных ограничений: стойкость породоразрушающего инструмента не безгранична, а передача мощности на забой ограничена. Поэтому внимание исследователей привлекают новые принципы разрушения, которые основаны на высокой концентрации энергии в месте разрушения породы и в то же время не зависят от стойкости породоразрушающего инструмента. Многие из них уже прошли испытания и внедряются в практику, другие еще только начинают движение по этому пути. Настоящая глава посвящена именно таким — не механическим способам проходки скважин, которые в определенной мере, а возможно, и полностью вытеснят существующие.

Термическое бурение — это разрушение расплавлением и последующим выпариванием породы или откалыванием от нее тонких чешуек при быстром и сильном нагреве.

Температура плавления большинства пород находится в пределах 1400 — 2600 К. Известняк расплавить труднее, чем другие горные породы, потому что при нагревании он разлагается с образованием окиси кальция — очень термостойкого соединения.

Буровой наконечник (головка из вольфрама) электронагревательных буровых снарядов нагревают почти

до 2000 К электронагревательным элементом (вольфрамовая или иридиевая проволока). Энергия подается по электрическому кабелю. При диаметре долота более 50 мм необходима мощность 5 кВт. Днище снаряда разогревается до 1600 — 1960 К. Расплавленная порода вытесняется к центру головки, там расплав охлаждается и разрушенные частички уносятся потоком гелия. Охлаждает головку вода, она же не дает разрушенным частицам слипаться. Опытное бурение показало, что такой буровой снаряд способен проходить базальты и граниты со скоростью более 5,5 м/ч.

Первый отечественный термоэлектробур на кабеле с системой поверхностного оборудования и управляющей аппаратуры создан совместными усилиями Арктического и Антарктического научно-исследовательского института и Московского института радиоэлектроники и горной электромеханики. Он был испытан 11-й Советской антарктической экспедицией вблизи поселка Мирный. Испытания показали целесообразность электротеплового бурения-протаивания как способа проходки снежно-фирновых и ледяных отложений с отбором керна. Последующие исследования привели к созданию более совершенного термоэлектробура ТЭЛГА-3.

Этот снаряд имеет кольцевой нагреватель — медный корпус, во внутренней полости которого находится нагревательный элемент из нихромовой проволоки. У нижнего, рабочего, торца корпуса буртики с отверстиями для входа воды в водоподъемные трубки. Эти трубки отводят воду в бак на поверхности. В верхней части бака — двухступенчатые турбокомпрессоры. Выше нагревателя устанавливается кернаврательное устройство.

Работает термоэлектробур следующим образом. После спуска снаряда на забой одновременно включаются нагреватель и турбокомпрессоры. Разряжение, создаваемое в баке, образует поток воздуха, который эжектирует образующуюся на забое воду. Она транспортируется вверх, частично при этом испаряется, а в водоприемном баке отделяется от воздушного потока из-за резкого снижения его скорости.

После заполнения кернаприемной трубы керном электропитание отключается и снаряд лебедкой поднимается с забоя. Ножи кернаврателя автоматически срыывают столбик льда и в дальнейшем удерживают его. На

поверхности керн извлекается, вода из бака сливается, и снаряд готов к очередному рейсу.

Конструкция данного термоэлектробура непрерывно совершенствуется. Разработаны и другие типы тепловых снарядов, использующие промежуточные теплоносители — горячий воздух, жидкости, водяной пар. Макет парового бурового снаряда отрабатывается одной из лабораторий Ленинградского горного института.

Для разрушения пород может быть использовано и тепло атомных реакторов, размещенных в головке бурового снаряда. Естественно, что они должны быть невелики по размеру, примерно 381—508 мм. Они размещаются в вольфрамовом элементе, греют его, а тот в свою очередь расплавляет породу. Наверх она выносится водой или газом.

Один из вариантов автономного бура предусматривает использовать в качестве атомного горючего U^{223} , U^{235} , Pu^{239} . Теплоносителем послужит висмут. В реакторе будет проложен ряд параллельных стержней, а между ними — каналы для теплоносителя. В них висмут нагреется до температуры 2000—2600 К и поступит к нагревательной поверхности из карбида гафния. Затем, двигаясь по кольцевому зазору между внутренней и наружной поверхностями головки, он вновь направится в область нагрева. Цикл повторится.

Нагрев атомного реактора превратит горную породу в магму при минимальных тепловых потерях. Под собственной тяжестью атомный бур опускается сквозь «жидкие» породы. Держит его колонна бурильных труб. Расплавленная масса вытесняется по затрубному пространству и встречается с потоком промывочной жидкости. В результате — резкое охлаждение, затем отверждение и разрушение под действием концентрации напряжений. Частички породы выносятся буровым раствором на поверхность.

Предложена конструкция, в которой теплоносителем служит сама расплавленная порода. Другая схема предусматривает подачу по специальному трубопроводу за забой водорода, он предохранит устройство от коррозии расплавленной породой.

Предложен также автономный атомный снаряд для путешествия сквозь толщу земной коры. В течение примерно полугода он сможет опуститься до глубины 30 км. Основные части «подземной лодки»: цилиндрический

корпус с ядерным реактором, балласт, отделяющийся в нужную минуту, и поплавков, поднимающий лодку на поверхность после освобождения ее от балласта. Корпус теплоизолирован, внутри расположены датчики давления, температуры, вязкости, механизм опробования забортного вещества на больших глубинах, радиопередатчик.

Движение вниз снаряд начинает из неглубокой скважины. Тепловая энергия от реактора направляется на забой, плавит пласты пород, и снаряд идет вниз. Расплавленное вещество за ним постепенно отвердевает. На определенной глубине срабатывает автомат, отделяющий балласт. Подземная лодка начинает всплывать. Успевшие затвердеть участки вновь расплавляются (ядерный реактор способен перевести в текучее состояние большинство горных пород).

Плазменные генераторы могут нагревать окружающую среду до температуры более 17 000 К, передавая ей приблизительно половину своей тепловой энергии. Коэффициент полезного действия плазменно-дуговых буровых снарядов достигает 30—40%.

Использовать плазму для разрушения горных пород предложили советские изобретатели. Были проведены эксперименты, которые показали, что при взаимодействии плазмы с породой в последней образуется область плавления и испарения различных минералов и область термических напряжений. Напряжения вызывают растрескивание породы, от нее отскакивают частицы различной крупности. Продукты разрушения удаляются из скважины обычным способом.

В устройствах для разрушения пород нагревом от подземного высокотемпературного факела имеется цилиндрический корпус с соосно расположенными в нем анодом и катодом. Они разделены изолятором. Институтом Гипроникель создано приспособление, перемещающее факел по забою скважины при неподвижной буровой колонне: крышка сопла вращается относительно камеры сгорания.

Другое советское изобретение предусматривает два полых электрода, камеру для высокотемпературной газовой среды, которая возникает при нагревании воздуха электрической дугой (это не единственный возможный вариант). Раскаленный воздух струями выходит из камеры через отверстия в крышке сопла.

Проведены опыты по бурению факелом длиной 76 мм с температурой у электродов более 5000 К. Генератор устанавливался почти в 3 см от разбуhrиваемой поверхности. Известняк переходил в окись кальция, которая образовывала защитный слой. Горючие сланцы разрушались, оставляя слой пепла. Наиболее быстро разрушался гранит.

Известны предложения добавлять в процессе бурения к рабочему газу флюс. Им могут служить мелкодисперсная бура, полевой шпат, кремнезем.

Электрическая дуга может создать температуру более 16 000 К и расплавить любую породу. Необходима такая конструкция бурового снаряда, чтобы можно было опускать в скважину оба электрода. Обойтись на забое только одним электродом не удастся из-за низкой электропроводности пород. В одной из конструкций, известных сегодня, используется электрический ток 100 А, напряжением 200 В. При этом температура дуги достигает 10 000 К, ее длина — более 25 мм. В буре имеются четыре отверстия для подачи воды, которая выносит с собой разрушенную породу. Советские изобретатели предложили электродуговой снаряд, в котором электрическая дуга возникает между центральным электродом и кожухом. Кожух и нагревается, расплавляя породу. Бур может вращаться на роликах.

Электронный луч несет энергию высокой концентрации — $1,54 \cdot 10^9$ Вт/см². Нет породы, способной устоять перед ним.

Электронный луч образуют летящие с катода электроны. Они направляются на горную породу отклоняющей сеткой, электростатической и электромагнитными линзами. Чем выше напряжение, тем четче фокусируется электронный пучок. При напряжении 30 кВ он образует пятно диаметром 2,54 мм, при 150 кВ — до 0,25 мм. Энергия достигает такой концентрации, что начинается испарение породы. Для бурения требуется напряжение 10—30 кВ.

Для сохранения электронного луча необходим вакуум — примерно 0,133 Н/м². Как его создать и сохранить в буре? Предлагаются динамические уплотнения с несколькими камерами различного давления. Предложение было реализовано в одной из конструкций, где имелся карбид-вольфрамовый катод, греющийся до 2300 К. Концентрация мощности достигала 16,45 Вт/см².

Эксперименты показали, что не следует ожидать от электронно-лучевых буровых снарядов больших скоростей проходки. Удельная энергия, необходимая для расплавления породы, достаточно велика, но подвести большую мощность к инструменту не удастся.

Лазерный луч может концентрировать энергию, в 30 раз большую, чем электронный. Однако идея применения лазерных буровых снарядов связана главным образом с термическим ослаблением плохо расщепляющихся пород. Нагрев до 630—900 К, резкие перепады температуры — причины сильных термических напряжений, которые нарушают связи между кристаллами и зернами.

Для бурения могут быть использованы лазеры на кристаллах и газовые. Коэффициент полезного действия последних выше. Луч лазера (с длиной разрядной трубки 1118 мм), сконцентрировавший энергию до $3.04 \cdot 10^8$ Вт/см², разрушал гранит, мрамор, гнейсы и сланцы. Все они были разогреты до интенсивного белого свечения, через несколько секунд начались разрывы, появились трещины. Через полминуты порода потеряла первоначальную прочность.

Расплавление пород требует большой удельной энергии, между тем выходная мощность лазерных буров довольно низка. Поэтому следует ожидать, что и скорость проходки окажется небольшой. Вот один пример: лазер с выходной мощностью 10 кВт в импульсе проплавит канал не шире 203 мм и длиной чуть более 1 м за 1 ч. И это при условии, что половина энергии пойдет на плавление породы. Из-за столь низкой механической скорости бурения лазеры пока не смогут найти применение в бурении геологоразведочных скважин, нужно в 10—20 раз увеличить их выходную мощность.

Термобуры с высокотемпературной газовой струей — это горелка и устройства для подвода горючего, окислителя и воды. Конструкции этого типа термобуров разнообразны, но в них всегда есть камера сгорания, форсунки, сопловой аппарат, водяная рубашка для охлаждения. Иногда горелка сочетается с электрической дугой. В подобных устройствах горячая смесь, скажем, углеводородное топливо и воздух, подается в пространство между электродами. Электрическая дуга воспламеняет смесь, температура пламени 1800 К и выше. Это вполне достаточно для разрушения большинства пород.

Продукты сгорания выходят из сопла с большой скоростью, что заставляет разрушенные частицы покидать забой.

В одном из советских изобретений предлагается регулировать динамические параметры газовой струи в зависимости от разрушаемой породы.

Упомянем еще подземную ракету советского изобретателя М. Циферова. Она позволяет проходить скважины большого диаметра для самых различных целей. Возможно, что с ее помощью удастся проникнуть на глубины, которые сегодня еще недоступны.

«Для состязания в исследовании внутриземного пространства русские приберегли про запас несколько новых технических средств и необычных идей. К ним относятся специальные виды буров, сверхглубокие шахты и подземные ракетные корабли», — писал недавно известный американский специалист.

Подземные реактивные снаряды — это рабочий орган и генератор газа высокого давления. Рабочий орган, расположенный в носовой части ракеты — сопловой аппарат, — имеет забойные сопла для разрушения горной породы и каскады сопел для постепенного расширения скважины. Топливный элемент и корпус наполнителя образуют генератор газа. Запальное устройство (навеска пороха и пиропатрон, который вставляют непосредственно перед запуском) расположено в хвостовой части подземной ракеты.

Готовый снаряд размещают в специальном стартовом механизме, направляющие которого устанавливаются так, что ось будущей скважины совпадает с осью снаряда.

Снаряд углубляется в грунт за счет разрушительной работы струй газа, которые вырываются из сопел со сверхзвуковой скоростью. Именно эти струи — породоразрушающий инструмент. Поступательное движение происходит под влиянием равнодействующей силы, результата сложения массы ракетного снаряда и реактивной тяги. Газ, вырывающийся под огромным давлением из сопел, смешивается с грунтом, вследствие чего образуется грунтовая смесь. Она движется со скоростью до 100 м/с, этого достаточно, чтобы вынести крупные фракции породы — куски до 1500 мм в поперечнике. Подземные реактивные снаряды способны проходить и водоносные горизонты.

Мощность ракет последних образцов — до $7,36 \cdot 10^4$ кВт. Это в 100 раз более мощные устройства, чем механические бурильные установки. Скорость проходки также велика. Скважина диаметром до 1000 мм прокладывалась со скоростью 1 м/с. Образец автономного подземного снаряда выставлен в павильоне лицензий экспортно-импортного объединения Лицензинторг.

Комбинированные способы воздействия на горную породу, как правило, оказываются наиболее эффективными. Так, при термомеханическом бурении порода нагревается только для уменьшения ее прочности; окончательное разрушение и отделение от массива производится механическим инструментом. Предложен и такой способ: локальным нагревом проходится ведущая скважина, а резанием она затем расширяется до нужного диаметра. Исследования советских специалистов показали, что нагрев горной породы до 1000—1400 К значительно облегчает ее последующее разрушение.

Еще сильнее разрушается порода под воздействием резких температурных колебаний — она трескается. Скажем, забой нагревается ацетиленовой горелкой или вольтовой дугой и затем резко охлаждается потоком воды, воздуха или того и другого вместе. Ослабленную породу разрушают опять-таки механическим инструментом.

Разработано устройство для проходки скважин ступенчатым забоем. Его центральная часть разрушается от нагрева, а расширяет скважину до требуемого размера долото в паре с горелкой.

Во время работы все устройство продвигается вниз, к забою, одновременно подается окисляющий газ и топливо. В инжекторе образуется горячая смесь, которая впрыскивается в камеру сгорания. Смесь воспламеняется, и раскаленные газы через специальные каналы с высокой скоростью бьют по забою, нагревая его до высокой температуры. Сама горелка вращается, и постепенно создается скважина малого диаметра — ведущая. Такой способ, как показала практика, хорошо зарекомендовал себя при проходке скважин большого диаметра.

Еще в довоенные годы в Советском Союзе были проведены опыты по разрушению горной породы струей жидкости высокого напора. Тогда было установлено, что для эффективного размыва и скалывания массива нуж-

но сообщить струе, вытекающей из сопла, давление в несколько тысяч килограммов на квадратный сантиметр. Для этого необходима большая мощность, например более 1000 кВт при диаметре сопла 2 мм и давлении $4 \cdot 10^8$ Н/м².

В Институте горного дела им. А. А. Скочинского пришли к выводу, что крепкие горные породы можно резать струей воды, вытекающей под высоким давлением со сверхзвуковой скоростью. Оптимальный диаметр струи — 0,8—1 мм и расстояние до препятствия — не более 4—5 см, ширина разреза — 3—5 мм, глубина в гранитах — 30 мм (при давлении $2 \cdot 10^8$ Н/м²), в мраморе — 74 мм, в известняке — 97 мм. Зарубежные исследования также показали эффективность гидромониторного способа бурения. Было установлено, что можно сделать высоконапорный гидромониторный бур, который сможет подавать на забой мощность, превышающую на 1—2 порядка мощность, создаваемую роторным бурением. Такой бур способен проходить, например, в песчанике скважину диаметром 203,2 мм со скоростью около 97,5 м/ч.

Разновидность гидромониторного способа бурения — использование высоконапорной струи, содержащей абразивный материал (песок и т. д.). Такая смесь закачивается с поверхности в колонну труб и с большой скоростью выбрасывается на забой из сопел. Для успешного разрушения породы требуется значительно больше энергии, чем для работы обычных гидромониторных установок. Дело в том, что струя, «начиненная» каким-то материалом, разрушает целиком на мелкие частицы, в то время как водяная — на крупные глыбы.

Наилучшие результаты были достигнуты тогда, когда песчаная добавка по объему составляла 3—20%. Не преодолен пока главный недостаток гидромониторных эрозионных установок — у них быстро изнашиваются долота насосов, магистрали, бурильные трубы. Пытаются бороться с износом, подбирая конструкции гидромониторной головки, размещая на ней насадки. Кроме того, предложен способ замены наиболее быстроизнашивающихся деталей без подъема всей колонны бурильных труб.

Взрывной способ проходки впервые был предложен и осуществлен на практике в Советском Союзе. Работа велась в двух направлениях. Предлагалось использовать

взрывчатое вещество для разрушения горной породы на забое и формирование ствола скважины. Второй путь: взрывом предварительно «рыхлить» породу, а окончательно разрушать ее резанием (способ получил название взрыво-вращательного).

Принцип взрывного способа проходки таков. На забой скважины через определенные интервалы времени опускаются заряды взрывчатого вещества. Периодические взрывы разрушают забой, отделяют от него куски породы. Их удаляет поток промывочной жидкости или воздушный поток. Многократные взрывы образуют ствол скважины.

Заряды подаются на забой различными способами. Взрывчатая смесь в виде отдельных компонентов может доставляться в специальных капсулах. Они с нужной частотой попадают в бурильные трубы с потоком промывочной жидкости, достигают забоя и взрываются. Есть способ доставки вниз взрывчатого вещества без оболочки. Промывочная жидкость может также нести капсулы, имеющие отсеки — в них размещены составные части взрывчатого вещества. Перед забоем эта «подводная лодка» проходит узкое место бурильной колонны, разделяющая перегородка разрушается, взрывчатые компоненты смешиваются и капсула превращается в торпеду. Через отверстие, расположенное в 20—40 см от забоя, торпеда на скорости 40 м/с выбрасывается и ударяется о забой. Капсюль-детонатор приходит в действие.

Взрыв образует у забоя мощный газовый пузырь, который вздымает столб промывочной жидкости в скважине. Она затем обрушивается вниз и дополнительно разрушает породу, которую выносит поток промывочного раствора. При бурении экспериментальной скважины диаметром 250—300 мм буровой раствор выносил на поверхность куски размером до 50 мм. Механическая скорость проходки в крепких породах 9—10 м/ч.

Одна из взрывных установок, разработанных в СССР, снабжена барабаном с навитым на него шлангом и питателем роторного типа. В нем имеются гнезда, в которых расположены патроны с жидким взрывчатым веществом.

Институт Гипронефтемаш первым разработал способ взрывовращательного бурения. Через бурильные трубы регулярно посылаются торпеды кумулятивного дейст-

вия. При ударе о забой они взрываются и разрушают породу, долото доканчивает дело. Оно изготавливается со специальным широким каналом — для беспрепятственного пропуска торпеды. Перед взрывом долото поднимают над забоем, чтобы не повредить.

Одна из американских фирм получила патент на устройство для роторного бурения с использованием взрывов гранулированных зарядов. Взрывчатая смесь «одевается» в оболочку из плохо растворимых в воде веществ, но в то же время легко разрушающихся. Взрыв происходит при ударе: в массиве образуются микротрещины, что облегчает работу долота.

Есть патенты, предлагающие применять капсулы с кумулятивным зарядом взрывчатого вещества. Такие капсулы сверху и снизу закрыты колпачками из синтетического или керамического материала, которые легко разрушаются. Снизу стоит воронкообразная деталь, придающая капсуле кумулятивные свойства. Когда происходит взрыв, то он направляется этой воронкой в сторону забоя. Долото остается вне сферы его действия. Достоинство данной конструкции — простота внедрения взрывного способа в обычное шарошечное бурение, для чего пригодно стандартное оборудование.

В другом изобретении предлагается приводить в действие капсулы, когда они проходят через центральное отверстие долота. В этом месте давление промывочной жидкости над капсулой увеличивается, что и приводит к ее взрыву на забое.

В Советском Союзе выдано авторское свидетельство на взрывной патрон, его можно использовать для бурения скважин с продувкой забоя воздухом. Патрон состоит из заряда, оболочки и плотного материала: воды, кварцевого песка, глины, цементного раствора, которые под действием взрыва могут равномерно разлетаться. Патрон готовится на поверхности и доставляется на забой продувочным воздухом. Взрыв разбрызгивает плотный материал, его частички разлетаются и разрушают породу.

Московский институт ЦНИИПодземМаш разработал взрывной генератор, в котором в качестве взрывчатки используется смесь керосина и четырехокиси азота (она образуется на конце специальной форсунки). Третий компонент является инициатором взрыва. Форсунка устанавливается на конце бурового снаряда, в нее

по шлангам подаются необходимые компоненты. Микро-взрывы происходят часто — до 25 раз в секунду. Они ударяют о породу с давлением $2,5 \cdot 10^{10}$ Н/м². Скорость проходки — 36 м/ч. Новая установка, видимо, найдет применение при бурении скважин большого диаметра.

Итак, суммируем достоинства взрывного метода проходки скважин: энергия взрыва передается на забой скважины практически без потерь и независимо от глубины, породы разрушаются при невысоких энергозатратах; диаметр бурящейся скважины можно регулировать в широких пределах, и это делает возможным проводку нефтяных и газовых скважин минимального диаметра; крупные частицы породы, отбиваемые взрывом, можно использовать для опробования.

Стоит рассказать еще о возможности воздействовать на забой с помощью устройств, использующих различные физические эффекты.

Изобретатели А. Островский и Е. Каган предложили использовать в бурении... кавитацию. В скважину посылают герметичные емкости, из которых удален воздух, — в них создана определенная степень разряжения. При разрушении такой емкости (удар о забой) происходит захлопывание вакуумной полости, вошедшей в контакт с породой. Окружающая жидкость приобретает большую скорость, импульсы высоких давлений обрушиваются на породу.

Другой способ кавитационного бурения: захлопывание вакуумной полости происходит при воздействии на оболочку долота, когда вакуумный заряд достигнет забоя.

При закачивании 1000 капсул в час в скважину глубиной более 3000 м выходная мощность составляет всего 4400 Вт. Это слишком мало для быстрого разрушения породы. Нужно еще добавить, что вакуумные капсулы дороги.

Большой интерес для буровиков представляет разогрев породного массива на некотором удалении от обнаженной поверхности. Происходит как бы тепловой удар внутри облучаемого массива, и там, внутри же, концентрируются напряжения. Они отрывают часть породы.

Почти половина территории Советского Союза лежит в зоне вечной мерзлоты. Цементированные льдом грунты при отрицательных температурах становятся на-

столько прочными, что их разработка, в том числе и бурение, оказывается малоэффективной из-за быстрого износа оборудования и его поломок. Необходимо предварительно рыхлить мерзлый грунт. Существующие для этого способы — оттаивание и взрывное рыхление — неэкономичны. Себестоимость разработки мерзлых пород в 5 раз выше, чем талых.

В проблемной лаборатории Ленинградского горного института было установлено, что мерзлые породы резко снижают свою прочность под воздействием мощных электромагнитных полей высокой и сверхвысокой частоты. Происходит это из-за неоднородности скелетной льдом породы. В ней всегда имеется ничтожное количество воды в капиллярах и в виде тонкой пленки на поверхности частиц. Вода поглощает электромагнитную энергию в сотни и тысячи раз сильнее, чем окружающая среда. Ее состояние меняется — ослабляется как бы «цемент» горной породы, она теряет первоначальную прочность и легче поддается механическому разрушению.

Свое открытие ленинградские ученые воплотили в целом ряде горных и землеройных машин нового класса. В их числе и установка для бурения мерзлых пород с излучающим забурником. Породоразрушающий инструмент — шнек, который от обычных отличается тем, что в нем смонтирован электромагнитный излучатель. Его приводят в действие, как только шнек упрется в грунт. На забой тут же обрушивается мощное электромагнитное поле. Происходит мгновенное разупрочнение породы. Шнек ее отделяет от массива и транспортирует наверх. Бурение осуществляется с обычными для мерзлых пород скоростями.

Ведутся работы по шариковому импульсному бурению, которое впервые было разработано в Советском Союзе. Воздействуют на забой стальными шариками, которые циркулируют через долото. После удара шарик поднимается вверх восходящим потоком промывочной жидкости и оказываются в отверстии, расположенном в верхней части долота. Они вновь проходят через долото и достигают забоя. В кварцитах, известняках и мраморе достигнуты соответственно следующие скорости проходки: 0,15, 1,2 и 2,3 м/ч. В твердых кварцитах износ шариков был замечен: масса порции стала меньше более чем на 1 кг.

Один из определяющих факторов при шариковом импульсном бурении — поддержание рабочего органа на оптимальном расстоянии от забоя. Для этой цели сейчас разработан целый ряд автоматических устройств. И все же коэффициент полезного действия опытных буровых снарядов, основанных на этом способе, пока не превышает 4%. Они нашли значительное применение при проходке в очень крепких горных породах, которые преодолевали с небольшой скоростью.

Разработан химический буровой снаряд. Специальное устройство подает на забой высокоскоростной поток химических веществ. Реагенты взаимодействуют с породой — образуются летучие продукты, которые удаляются из забоя. Перспективы этого необычного способа ограничены из-за большой стоимости высокоактивных химических веществ. К тому же их требуется очень много, и это создает проблему их хранения.

Способ бурения	Метод разрушения	Максимальная механическая скорость проходки, м/ч
Эрозионный	Механический	21—84
Электрогидравлический	»	21—84
Взрывной	»	15—42
Роторный	»	9—51
Термический	Термический и механический	16—33
Огнеструйный высокотемпературный	Термический	5—11
Шариковый импульсный	Механический	3—8
Турбинный	»	1,8—8
Плазменный	Термический	4,8—6,6
Электродуговой	»	2,4—4,8
Плазменный	Плавление	1,2—1,8
Термоэлектрический	»	0,6—1,8
Электродуговой	»	0,6—1,8
Атомный	»	0,6—1,8
Лазерный	Термический	0,6—1,2
Электронно-лучевой	»	0,6—1,2
Лазерный	Плавление	0,18—0,36
Ультразвуковой	Механический	0,024—0,24

Каковы же перспективы внедрения в производство новых способов бурения? Рассмотрим таблицу, составленную зарубежными специалистами.

Из таблицы видно, что наиболее эффективными способами бурения следует считать эрозионный, электрогидравлический, взрывной, термомеханический.

Внедрению эрозионных методов будет препятствовать быстрый износ различного бурового оборудования. Хорошие перспективы у электрогидравлического способа, при котором механическая скорость может достигать весьма больших величин.

Есть тенденция переходить на бурение скважин малого диаметра. Правда, потребуется создать высоковольтный генератор, который мог бы опускаться в скважину, а это нелегко.

Главный недостаток взрывного способа — высокая стоимость взрывчатых веществ. Его выгодно применять лишь на некоторых интервалах, сложенных особо крепкими породами, или при проходке неглубоких скважин. Экономически эффективно сочетание взрывного и механического бурения.

Термомеханический способ найдет применение при бурении в породах, склонных к термическому разрушению.

Имеется еще один критерий, который следует учитывать при оценке различных способов бурения. Геологоразведочное бурение проводится прежде всего ради опробования пород, расположенных в данном районе. Невозможность получить керн может стать непреодолимым препятствием для любого нового способа проходки скважин, как бы он хорош ни был. Исходя из этого, следует сказать, что в геологоразведочном бурении в ближайшие годы существующие методы механического разрушения горных пород останутся доминирующими.

Литература

Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976.

Бугаков Ю. Д., Максимов В. И. Прогресс на колонковом бурении в десятой пятилетке. — «Разведка и охрана недр», 1977, № 1.

Бугаков Ю. Д., Кардыш В. Г., Мурзаков Б. В. Перспективы развития техники и технологии бурения на твердые полезные ископаемые. — «Разведка и охрана недр», 1974, № 3.

Куликов И. В., Воронов В. Н. и др. Пневмоударный комплекс КПР для бурения колонковых скважин на россыпных месторождениях. М., ВИЭМС, серия XI, вып. 7, 1974.

Волосюк Г. К., Исаев М. И. и др. Съёмные кернаприемники ССК-59. — «Разведка и охрана недр», 1975, № 3.

Никаноров А. М., Петрукович С. В., Фоменко Н. И. Комплекс снарядов со съёмными кернаприемниками КССК-76. — «Разведка и охрана недр», 1975, № 1.

Максимов В. И., Цехмистренко Н. М., Розин М. М., Щекин Ю. Н. Новые способы бурения скважин. М., ВИЭМС, серия техника и технология геологоразведочных работ, 1971.

Применение пневмопробойников в СССР и за рубежом. Обзор. Серия IV. Механизированный инструмент и отделочные машины. ЦНИИТЭстроймаш. М., 1974.

На пути к мантии. — «Наука и жизнь», 1976, № 3.

Наиль Исмагзамович Хисамутдинов

ГОРИЗОНТЫ БУРЕНИЯ

Гл. отраслевой редактор В. П. Демьянов

Редактор Г. И. Флиорент

Мл. редактор Н. А. Львова

Обложка художника Г. Басырова

Худож. редактор Т. И. Добровольнова

Техн. редактор А. М. Красавина

Корректор В. В. Каночкина

ИБ № 1075

Т 19520. Индекс заказа 84601. Сдано в набор 22/XI-77 г. Подписано к печати 22/XI-77 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1. Печ. л. 2. Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,30. Тираж 63 000 экз. Издательство «Знание». 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 2040. Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 11 коп.