

ББК 33.13

Копылов В. Е.

К65 Бурение?.. Интересно! — М.: Недра, 1981. — 160 с., ил. 5 л.

Автор, крупный специалист, профессор, знакомит читателей с интересной и увлекательной профессией, очень нужной народному хозяйству — профессией, которая одна из первых вышла за пределы Земли в космос. Совсем недавно бурильные автоматические машины побывали на Луне. Бурение и лазер, бурение и космос, бурение и телевидение — это сегодняшняя действительность, которая зовет молодых и увлеченных, любящих современную технику людей.

K 20804—470
————— 200—81 1904000000
043(01)—81

ББК 33.13
6П1.2

Р е ц е н з е н т — канд. техн. наук *M. O. Крист* (ВНИИБТ).

© Издательство «Недра», 1981

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга проф. д-ра техн. наук В. Е. Копылова «Бурение?... Интересно!» очень просто и доходчиво рассказывает читателю в исторической последовательности о процессе бурения. Автор поставил перед собой цель: ознакомить и в какой-то мере заинтересовать школьников старших классов и абитуриентов своей специальностью. В книге рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с применением бурения в самых различных областях науки и техники.

Книга впервые в доступной форме обобщает громадный материал по истории бурения. В. Е. Копылов интересно и увлекательно знакомит читателя с приемами сверления в древнем мире, с бурением скважин глубиной свыше 500 м еще до нашей эры, с разнообразной техникой средневековья и нашего времени.

Для будущих инженеров и ученых в области бурения будут интересны описания многих разработок, как нашедших применение, так и находящихся в стадии экспериментов. Отличительная особенность книги состоит в том, что автор ставит множество интересных и нерешенных проблем, которыми будут заниматься будущие инженеры, избравшие своей специальностью бурение — одну из интереснейших профессий века. Книга завершается размышлениями о долге инженера, о возможных трудностях при работе на производстве, о путях их преодоления. Зная автора как ученого, влюбленного в свою профессию, думаю, что эти советы окажут положительное влияние на формирование специалистов-буровиков.

Своим стремлением раскрыть в книге наиболее интересные и увлекательные стороны, связанные с профессией горного инженера по бурению, автор поможет молодым людям в выборе профессии. Книга В. Е. Копылова привлечет внимание не только школьников-старшеклассников и абитуриентов. Она представляет значительный интерес для студентов, которые в будущем будут связаны с бурением.

Автор сумел обобщить очень большой материал из литературных источников, из научной и практической деятельности как своей, так и других специалистов. Нередко он находит связь с бурением в таких вещах, где, на первый взгляд, казалось бы, ее и не существует. Материал изложен просто, читается легко и с интересом.

Книга может оказать помощь в выборе профессии для старшеклассников и абитуриентов, расширяет общие познания буровиков и других специалистов, причастных к бурению скважин.

Канд. техн. наук

M. O. Крист

К ЧИТАТЕЛЮ

В наше время насчитывается более ста тысяч профессий! Какую выбрать? Бурение не принадлежит к кругу специальностей, призвание к которым у молодежи проявляется с детских лет. И все же в профессии буровика столь много интересного, необычного, что она в перечне престижных специальностей неизменно занимает одно из почетных мест. К сожалению, молодежь еще мало знает о бурении. Одна из причин — отсутствие популярного и занимательного изложения привлекательных сторон профессии. Этой цели и служит предлагаемая читателю книга.

Автору хочется на отдельных ярких примерах показать в ней, что даже в сугубо специальных отраслях промышленности, о которых в школьные годы обычно и не мечтают (а чаще всего не знают), есть немало неожиданно захватывающего и любопытного.

Бурение — одна из древнейших специальностей. Уже одну историю своей профессии автор находит прекрасной настолько, что она заслуживает занимательного изложения. Достаточно сказать, что вся история бурения до сегодняшнего дня есть постоянное устранение противоречия между существующей технологией и потребностями в увеличении глубин скважины.

Многие выдающиеся ученые и деятели государства в прошлом были связаны с бурением: М. В. Ломоносов, Д. И. Менделеев, С. М. Киров и др. Так, пропагандируя бурение, М. В. Ломоносов писал в 1742 г.: «Достигиув места, где с надеждою можно искать подземного богатства, должно показать некоторые способы как бы руд и камней достать под землею. Горной бурав или щуп к тому служит».

Еще более интересны перспективы бурения. Совсем недавно бурильные автоматические машины стали одними из немногих исследовательских приборов, впервые побывавших на Луне. А на очереди Марс, его спутники, астероиды, ледяные ядра комет.

Буровики озабочены сложнейшими задачами. Если проникновение в космос оказалось для человечества реальным делом, то бурение скважин на Земле глубиной свыше 15 км не вышло пока из рамок инженерных проектов. Существующие самые глубокие скважины достигли пока лишь первого десятка. Они — булавочный укол для земной коры в сравнении с радиусом земного шара.

Буровики всегда отличались необыкновенной изобретательностью. Сама жизнь заставляет их быть такими. В самом деле, попробуйте

управлять длинной, в несколько километров колонной бурильных труб или устранять аварии в скважине, размер которой составляет всего два-три десятка сантиметров, а отношение диаметра к длине достигает одной стотысячной доли единицы.

Даже у тонкого сверла, где аналогичное соотношение в тысячу раз больше, поломки не столь уж редки, если усилие на сверло превысит его прочность или если сверло перекосилось в шпинделе станка

На очереди множество нерешенных задач. Так, несмотря на давнюю историю бурения, до сих пор разрушение горных пород в скважине основано на сжатии — самом невыгодном способе воздействия. Поэтому для будущего уже сейчас проектируются и применяются буровые устройства, создающие на забое скважины растягивающие или сдвиговые напряжения за счет лазерных, электромагнитных и других излучений

Возможно, отдельные читатели ожидают увидеть в книге подробные описания конструкций существующих буровых установок, инструмента и технологий. Книга, однако, не учебник и не претендует на полное изложение процесса бурения. Задача книги другая — на отдельных частных примерах показать, что бурение интереснейший производственный процесс, использующий многие современные достижения науки и техники, включая электронику, телевидение, автоматику и др. Бурение — техническая дисциплина, зарождение и развитие которой происходило на стыках многих смежных наук, требующих применения математического аппарата, физики, механики, химии и т. д. И это вполне понятно: скважина есть весьма сложное инженерное сооружение.

Бурение в книге сознательно не подразделяется на отдельные виды (нефтяное, геологоразведочное на твердые полезные ископаемые, бурение на карьерах, на строительстве, в шахтах и т. д.), поскольку специальность бурения едина. В вузах различного профиля (горные, нефтяные, строительные) даже кафедры бывают разные: техники разведки, бурения нефтяных и газовых скважин, буровзрывных работ и т. д. Такое разграничение сейчас вынужденное и оправдано лишь частично, когда речь идет об отдельных профессиях, разделение которых в наше время неизбежно как дань специализации

Книга является итогом изучения огромного количества литературных источников. Отдельные главы почти всецело построены на заимствованных материалах, авторам которых я глубоко обязан. К сожалению, в книгах подобного рода не принято делать подстрочные ссылки и тем более сопровождать книгу списком использованной литературы. Заранее приношу извинения тем своим коллегам, должную признательность которым не удалось высказать.

ЧЕМ ЖЕ БУРЯТ?

Бурение есть технологический процесс, направленный на получение отверстия в земных недрах, или, как говорят буровики, скважины. В отличие от любого отверстия скважина имеет весьма малую величину соотношения диаметра и глубины. Сооружение скважины достигается множеством способов, отсюда — богатый выбор различных видов бурения.

Скважины применяются в горном деле для взрывных и строительных работ, в разведке минеральных запасов земной коры, для добычи некоторых полезных ископаемых, в первую очередь таких, как газ, вода, нефть, соляные рассолы и т. п.

Общее представление о бурении каждый может получить на основе имеющегося жизненного опыта, например, из опыта сверления отверстия с помощью ручной дрели. Если продолжить аналогию дальше, то сверло следует сравнить с инструментом, разрушающим горную породу в самой нижней части скважины, на ее забое. Такие инструменты носят название бурового долота, а в некоторых специальных видах бурения — буровой коронки.

Вращение к сверлу передается через стержень от зажимного патрона дрели. Подобные устройства есть и в бурении. Разница состоит в том, что длина скважины в сотни и тысячи раз больше глубины любого отверстия в металле или дереве. Поэтому приходится применять специальную разъемную колонну труб. Их называют бурильными трубами, а отдельные составные части колонны — свечами.

Итак, на забое скважины при бурении находится долото, соединенное с бурильными трубами. В верхней части скважины на поверхности земли, иными словами — на устье, бурильные трубы зажимаются в специальном механизме для передачи им и долоту вращения. Этот механизм называется ротором, а в некоторых бурильных станках — вращателем. Способ бурения, при котором бурильные трубы вращаются ротором, называется роторным.

При сверлении дерева или металла разрушенный материал извлекается из отверстия по спиральным канавкам сверла. Такой способ применим и в бурении скважин. Соответствующий инструмент носит название шнека, а способ бурения — шнековым. Он применяется при проходке неглубоких скважин — до нескольких десятков метров. С увеличением глубины скважины в современном бурении разрушенная горная порода удаляется специальной промывочной жид-

костью, которая прокачивается насосами через бурильные трубы, выходит из отверстий долота, захватывает частицы горной породы — шлам — и по затрубному пространству между стенками ствола скважины и наружной поверхностью бурильных труб выносится на поверхность. Там она очищается в специальных устройствах и снова закачивается в скважину. Цикл повторяется в течение всего процесса бурения. Надежная очистка забоя скважины возможна при определенных параметрах промывочной жидкости — плотности, вязкости, статическом напряжении сдвига и др. Столб жидкости в скважине выполняет и другую весьма важную роль. За счет противодавления на стенки скважины он обеспечивает устойчивость стенок, предотвращая их обвал. При обвале в скважине возможна авария и засыпка инструмента горной породой — прихват.

Процесс бурения оценивается скоростью, с которой происходит углубление скважины в единицу времени. Она называется механической скоростью бурения и зависит от режима бурения, свойств горной породы, правильного выбора типа долота и от износа его рабочих элементов. Режим бурения определяется нагрузкой на долото, частотой его вращения и количеством промывочной жидкости. Из большого разнообразия существующих конструкций долот наибольшее распространение получили так называемые шарошечные долота. На корпусе долота под углом 120° на опорах вращаются три конусообразные шарошки, образующие которых касаются забоя специальными зубьями или твердосплавными (иногда алмазными) вставками (вооружение долота).

По мере увеличения глубин скважин энергия на вращение бурильных труб возрастает и тратится понапрасну. Увеличивается износ труб, аварии с ними учащаются. Еще в конце прошлого века изобретатели искали способ вращения долота при неподвижной бурильной колонне. И только в 30-х годах в Баку советские инженеры решили эту трудную задачу. Они попытались использовать промывочную жидкость не только по ее прямому назначению, но и для вращения турбины. Турбина, установленная над долотом, получила название турбобура, а способ бурения — турбинным.

В последние годы все большее распространение находит другой гидравлический забойный двигатель винтового типа. Он работает по принципу известных винтовых насосов, но по обращенной схеме: при прокачке жидкости вращается вал двигателя (у насоса все наоборот).

Имеются попытки применения и других забойных двигателей, электрических и пневматических. Соответственно двигатели называются электробуром и пневмоударником. С их помощью ведется бурение относительно небольшого числа скважин.

После износа долота его необходимо заменить на новое. Бурение прекращается, останавливаются насосы и вся колонна бурильных труб извлекается по частям из скважины. Эти операции носят название спуско-подъемных. Для их выполнения предназначены особые устройства и механизмы, в первую очередь лебедка и мощное полиспастное устройство — талевая система. Она состоит из комбинации талевых блоков, кронблока на верху буровой вышки и металлических тросов. Талевая система рассчитана на подъем колонны массой в несколько сот тонн.

Отработанное долото заменяется на новое и вся колонна бурильных труб спускается в скважину в обратном порядке. Спуско-подъемные операции с бурильными трубами — процесс длительный и трудоемкий, так как каждую бурильную трубу или свечу приходится соединять резьбовыми устройствами — замками. Инженерная мысль давно искала решение, которое избавило бы буровиков от непроизводительного труда. В последние годы одним из вариантов такого решения стало так называемое шланго-кабельное бурение. Вместо бурильных труб здесь применяют польй шланг со встроенным электрическим кабелем. На конце прочного, но достаточно гибкого шланга устанавливается электробур. Для смены долота шланго-кабель наматывается на барабан подобно тому, как это делается в пожарном автомобиле. Время на спуско-подъемные операции значительно сокращается.

При бурении нефтяных и газовых скважин бывают аварийные выбросы нефти и газа, находящихся в горных породах под большим пластовым давлением. Правильное соблюдение необходимых технологических приемов (достаточная плотность промывочной жидкости, контроль за уровнем последней в скважине — она всегда должна быть заполнена жидкостью и др.) полностью предотвращает аварийные ситуации. Для еще большей надежности на устье скважины, а иногда и в самой скважине, в колонне бурильных труб устанавливаются специальные противовыбросовые устройства. Они перекрывают ствол скважины и называются превенторами.

После окончания бурения ствол скважины должен быть закреплен. Такое крепление в первую очередь необходимо для скважин, предназначенных для долгой работы, например эксплуатационных нефтяных, газовых и водоподъемных. Крепление достигается специальной колонной обсадных труб и последующим их цементированием для более прочной связи труб с горной породой стенок скважины.

Большинство скважин имеет вертикальное направление. Сохранение такого направления — одна из сложных задач буровика. Скважины по ряду причин геологического и технического характера постоянно искривляются. Нередко искривление приводит к осложнен-

ниям, а порой — к гибели дорогостоящей скважины. Однако в ряде случаев, например, при бурении в труднодоступных районах (горы, болота, берег моря, озера или реки, в жилой местности и т. д.) приходится искривлять скважину искусственно, выдерживая заданное в пространстве направление. Такое бурение называется наклонно направленным. Искривление начинают сразу же после начала бурения или после прохождения вертикального участка скважины на некоторую глубину. Для таких целей существует весьма сложная технология и необходимая измерительная техника

Несколько слов о способах бурения. Скважину бурят, разрушая горную породу различными методами. Долото можно вращать, подвергать удару, совмещать то и другое — комбинировать. Отсюда получили развитие так называемые вращательный, ударный, ударно-вращательный, ударно-поворотный, вибрационный и другие виды бурения. Существует несколько необычный способ бурения — задавливанием.

Разрушение породы возможно и без механического воздействия, например, под влиянием тепловых, электрических, высокочастотных электромагнитных и других полей. Вместо долот здесь используются соответствующие буровые наконечники: плазмо- и термобуры, лазеры и другие устройства.

Особо выделяется колонковое бурение, без которого не обходятся разведчики недр. Оно отличается тем, что забой скважины разрушается не сплошь, а выборочно с образованием кольцевого забоя. В скважине остается неразрушенный столбик (колонка горной породы) — керн. Он используется как образец породы для геологического изучения после подъема из скважины специальным колонковым снарядом.

Перечень сложных технических терминов, с которым читатель сейчас встретился, имеет вполне определенное назначение: с его помощью автор попытался дать определенное представление о необходимом уровне знаний современного инженера-буровика, включающем механику, гидравлику, математику и другие науки.

КАКИЕ БЫВАЮТ СКВАЖИНЫ?

Сначала посмотрим, куда приходится доставлять буровой станок. Его поднимают высоко в горы и опускают на дно океана, им исследованы все наши континенты, включая Антарктиду. Скважины бурят в жерле вулканов и гейзеров, с их помощью оценивают возможность прогноза землетрясений.

Так, на Курильских островах в зоне тихоокеанского пояса активной сейсмичности в 1976 г. было пробурено несколько скважин для получения пароводяной смеси. Тщательные наблюдения за уровнем воды в скважине дали любопытные результаты: падение уровня всегда предшествует подземному толчку. Чаще всего это происходит за 1—7 сут до начала грозного явления природы. Прогноз по скважине на этом не заканчивается. За несколько часов до землетрясения уровень воды бурно поднимается. Диапазон изменения уровня может указывать на силу предстоящего толчка. Как важно своевременно предупредить население близлежащих городов и поселков!

В скважинах нуждаются археологи. Традиционные раскопки обходятся дорого, а их последовательность не всегда удается правильно спланировать. Предварительная оценка внутренностей обнаруженных под землей пустот, полостей, могильников или древних городищ оказывается возможной с помощью скважины. Через нее спускается перископ с элементами искусственного освещения. Наблюдения могут быть визуальными или с помощью фотосъемки. Такой метод позволяет сэкономить значительные средства и время.

На Камчатке в районе действующих вулканов скважины используются для гидротермальной энергетики. Так, в Паужетке первая скважина, пробуренная в 1958 г., дала фонтан горячей воды и пара с температурой около 200 °С. Вода и пар приводят в движение турбины Паужетской ГеоТЭС, работающей более 10 лет.

Много лет горячей водой из скважин питается коммунальное хозяйство столицы Исландии Рейкьявика.

Скважины используются для подземных ядерных взрывов в мирных целях, например, для создания подземных газохранилищ, для увеличения трещиноватости горных пород в целях возбуждения притока нефти на старых и отработанных месторождениях.

Даже кладоискатели не обходятся без бурения. В Канаде на побережье Атлантического океана издавна привлекает своей неразгаданной тайной остров Оук. По рассказу А. Еременко, помощника капитана танкера «Белград», побывавшего в Канаде, еще в 1795 г. там был обнаружен колодец глубиной несколько десятков метров, тщательно засыпанный бревнами, глиной, древесным углем и кокосовой мочалкой. По некоторым версиям, колодец стал считаться хранилищем сокровищ древних и ников, английских монахов и пиратов. В 1849 г. одна из экспедиций самодеятельных кладоискателей после безуспешных попыток откопать колодец (или, как его называли, «мани пит» — денежная шахта) применяла бурение.

На глубине 30 м наконечник бура коснулся твердого предмета. Бурение еще нескольких наклонных скважин привело к обнаружению подземных помещений. Работы прекратились.

Много позднее, в 1896 г., некий Фредерик Блайер снова воспользовался бурением. Он пробурил пять скважин глубиной до 46 м и, по словам удачливого кладоискателя, наткнулся на мягкий металл, пересыпающийся под буром, — возможно, золото.

В наше время тоже предпринимались попытки бурения в районе колодца. Последние такие опыты, и вновь неудачные, были в 1965—1969 гг. Несмотря на возможности современной техники бурения и даже телевидения (в скважину спускались телекамеры), тайна острова не разгадана до сих пор.

Поиски легендарной Атлантиды также не обошлись без бурения. В восточной части Средиземного моря грунтоносами (полыми трубками для отбора проб со дна океана) были подняты колонки грунта со следами вулканического пепла. Слои пепла подтверждают вероятность нахождения Атлантиды среди островов одной из самой крупной в мире кальдеры Санторин. Санторинский архипелаг образовался около 3400 лет назад при катастрофическом взрыве вулкана того же названия.

Итальянский город Пиза известен своей знаменитой Падающей башней (начало ее строительства относится к 1173 г.). Сейчас скорость наклона колокольни возросла почти до 8 угловых минут в год, и в предстоящие 50 лет башня должна упасть.

В одном из проектов по спасению башни предлагается система дренажных скважин. Они размещаются в основании колокольни со стороны, обратной наклону. Путем откачки воды из скважин будет снижено давление в порах глинистого пласта. Согласно расчетам таким путем наклон башни удастся уменьшить на четверть градуса в год. Если полное выравнивание башни и не наступит, то стабилизация угла наклона будет достигнута.

Ручное бурение использовалось для освобождения от льда точки Северного полюса: там была пробурена весной 1977 г. скважина во время работы экспедиции «Север» (рис.1). Скважина на полюсе — это интересно! Жаль только, что скважина пробурена в толще льда, а не на дне океана. Надо надеяться, и такое событие рано или поздно случится. Такая скважина во многих отношениях будет уникальной: куда бы ни отклонился ствол от вертикали, во всех случаях его направление будет на юг. Как тут поступить с инженерной документацией без риска оставить ее вне рамок объективности? Тем не менее уже сейчас бурение на полюсе служит науке.

Больших успехов добились ученые при бурении дна океанов с плавучих буровых установок. Особый интерес вызывает бурение дна в одной из самых глубоких впадин Мирового океана — Марианском желобе вблизи Филиппин. Рекордное бурение при глубине океана над устьем скважины более 7 км (7034 м) впервые было проведено

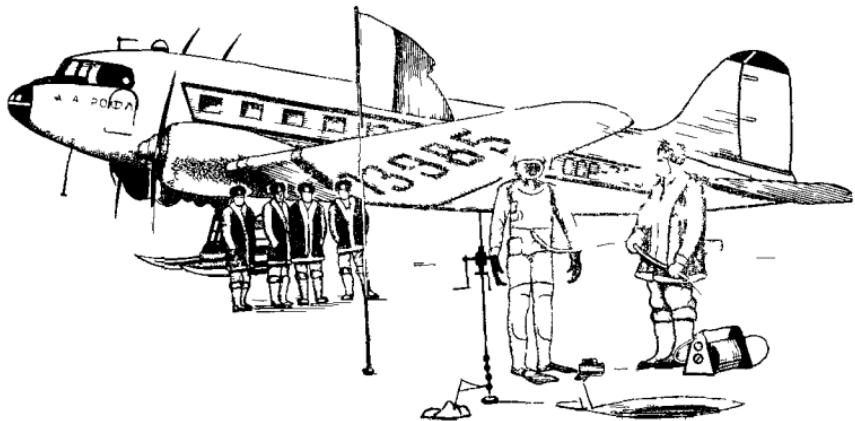


Рис. 1. Бурение льда на Северном полюсе

с научно-исследовательского судна «Гломар Челленджер» в мае 1978 г. Ранее пробуренные скважины, также уникальные (их было 9), имели глубину 2637—6443 м.

Буровой наконечник во всех этих скважинах углубился в дно моря на глубину 20—559 м. В итоге исследований удалось получить богатейшие научные материалы, свидетельствующие о признаках активного взаимодействия океанских и континентальных горных пород, возраст которых исчисляется десятками миллионов лет. Из скважин был поднят керн редкой разновидности вулканических лав, охлажденных океанской водой.

Ученые пытаются бурить под водой подошву айсбергов. (И не где-нибудь в теплом океане, а возле Северного полюса!)

Буровики-гляциологи исследуют ледники на Памире на высоте выше 5 км и вблизи Южного полюса с отбором образцов льда. Без бурения здесь невозможно было бы получить любопытные и неожиданные научные результаты

Существенно новые результаты дало бурение скважин на дне океана в Антарктиде, на ледниках Гренландии. Например, пробы льда, извлеченные буровым снарядом из ледников Гренландии с глубины 1,5 км, позволили изучить возраст ледяного покрова и последовательность отложений из атмосферных осадков, в том числе космической пыли. Так, 700 лет назад ее годовое количество почему-то было в 3 раза меньше.

Среди возможных многочисленных примеров бурения скважин в самых разнообразных отраслях науки и техники остановим внимание читателя на кратком перечне наиболее ярких случаев. Здесь

прежде всего следует упомянуть бурение шахт большого диаметра, для которых созданы очень мощные и уникальные установки.

Скважины применяют для добычи минеральной воды на прославленных курортах Боржоми, Ессентуки и в других местах.

В научных исследованиях загадок глубинных слоев нашей планеты скважина остается пока единственным надежным и доказательным средством подтверждения гипотез и предположений ученых. Здесь бурение — основной методический прием. Только скважина может решить загадку мантии, осветить закономерности распространения тепла в недрах Земли и др.

Существуют проекты непосредственного проникновения с помощью скважины в магматический очаг, где температуры достигают свыше 1000°C . Считается возможным уже в наше время бурить скважины в недрах действующего вулкана. Для этого не обязательно начинать бурение в кипящем жерле: существующая техника позволяет бурить наклонные скважины из безопасного места и с очень большой точностью. Например, при глушении газовых или нефтяных фонтанов, в том числе и горящих, на нефтепромыслах часто бурят наклонную скважину для отвода струи незагоревшегося газа или нефти. Техника управления наклонно направленной скважиной в пространстве настолько точна, что на глубине нескольких сот метров скважина надежно попадает в аварийный ствол.

Изучение магматического очага в вулкане с помощью скважины может решать и другую, пожалуй, небывалую по дерзости, задачу — управлять характером извержения вплоть до его глушения с помощью воды, закачиваемой в скважину. Перегретый пар, образующийся при этой операции, можно отводить через соседнюю скважину. Таким путем можно предотвратить возможный взрыв, а пар использовать для технических и бытовых нужд.

Сведения о зоне расплава магматического очага непосредственно в скважине или по извлеченным образцам горных пород — кернов дали бы геологам неоценимую информацию о распространении и миграции химических элементов. А это очень важно для поисков и оценки закономерностей размещения в земной коре полезных ископаемых, редких металлов и минералов, для решения множества других петрологических проблем.

Не случайно в последние 10—15 лет ученые придают огромное значение бурению сверхглубоких скважин, превышающих отметку 10—15 км. В таких скважинах заинтересованы геологи всех имеющихся специальностей, ведущие поиски твердых, жидких или газообразных полезных ископаемых. Не исключено, что только сверхглубокие скважины позволят, наконец, решить уже вековой спор о происхождении нефти: органическом или неорганическом. Затихая и

возобновляясь вновь после получения тех или иных новых интересных материалов, подтверждающих ту или иную гипотезу, этот спор, начатый нашим великим химиком Д. И. Менделеевым, не прекратился и поныне.

В сверхглубоких скважинах будет, очевидно, решена и загадка кимберлитовых трубок — родоначальниц алмазов.

Недавно уральские геологи пробурили несколько скважин под древним Уральским хребтом. Неожиданно приборы показали снижение температуры по мере увеличения глубины. Этого почти нигде не наблюдалось. Так, на километровой отметке в районе Свердловска температура не поднималась выше 13 °С! Снова загадка, и поставлена она скважиной. Другими научными средствами такой результат получить бы не удалось. Как всегда бывает в подлинной науке, каждый очередной удачный эксперимент не только отвечает на поставленные ранее вопросы, но (это особенно важно) выдвигает новые. Так случилось и на Урале.

Остается лишь удивляться необыкновенной изобретательности наших ученых, способных использовать все для получения новых научных результатов. Так, забой сверхглубокой скважины на глубине 15 км предполагается использовать для размещения научных приборов с целью измерения под мощной толщей горных пород потока частиц космического излучения высоких энергий. Полагают, что только в такой скважине будет возможно экспериментальное подтверждение гипотезы о существовании гравитационных волн. До сих пор подобные опыты удавалось провести лишь в глубоких шахтах. Глубина их не превышала 800—1500 м, что не вполне удовлетворяло ученых.

Стоит упомянуть о совершенно необычных применениях бурения. Все знают, как копают траншеи и канавы. Такие стройки немыслимы без канавокопателей, экскаваторов или драглайнов. Кажется, трудно предложить в столь известном и хорошо изученном деле что-либо новое. Но вот на эту будничную операцию ученые из Московского геологоразведочного института посмотрели необычно и с выдумкой. В результате родился новый способ проходки. На рис. 2 показана проходка траншеи буровым способом. Как видно, комбинация двух буровых долот и шнека позволила получить прямоугольную в разрезе траншею на совершенно новой технологической основе.

А недавно мне довелось увидеть бурофрезерную установку для разрыхления смерзшейся горной массы в железнодорожных вагонах. Замороженные в вагонах песок, щебень или руду разгрузить не так-то просто. Конструкторы разместили над железнодорожными путями в одном ряду по ширине вагона пять вращающихся шнеков. Они вгрызаются в монолит и дробят его за считанные минуты.

В геологической практике для геофизических изысканий и бурения мелких сейсмических скважин, количество которых огромно, а располагаются они чаще всего в труднодоступной местности, применяются специально оборудованные вертолеты. Буровые установки монтируются на фюзеляжах как двухвинтовых, так и одновинтовых вертолетов. Забой скважины при бурении очищается сжатым воздухом, нагнетаемым компрессором. В одновинтовых вертолетах вышка в транспортном положении располагается вдоль фюзеляжа, а при бурении поворачивается на шарнирах в вертикальное положение. Буровая установка создана из легкосплавных материалов, что облегчает конструкцию установки и вертолет.

Еще одно необычное применение бурения. При строительстве трубопроводов для нефти и природного газа наибольшую трудность составляет сооружение водных переходов через реки. Переходы делаются в виде траншей на дне русла или подвешиваются над рекой специальными опорами. В том и другом случае работы занимают много времени, сложны и дороги.

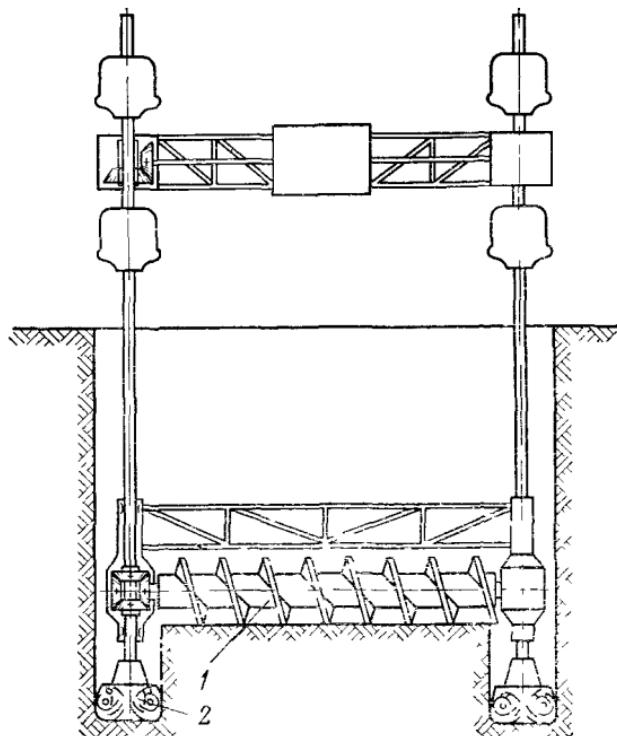


Рис. 2. Проходка траншей буровым способом:

1 — шнек; 2 — шарошечное долото

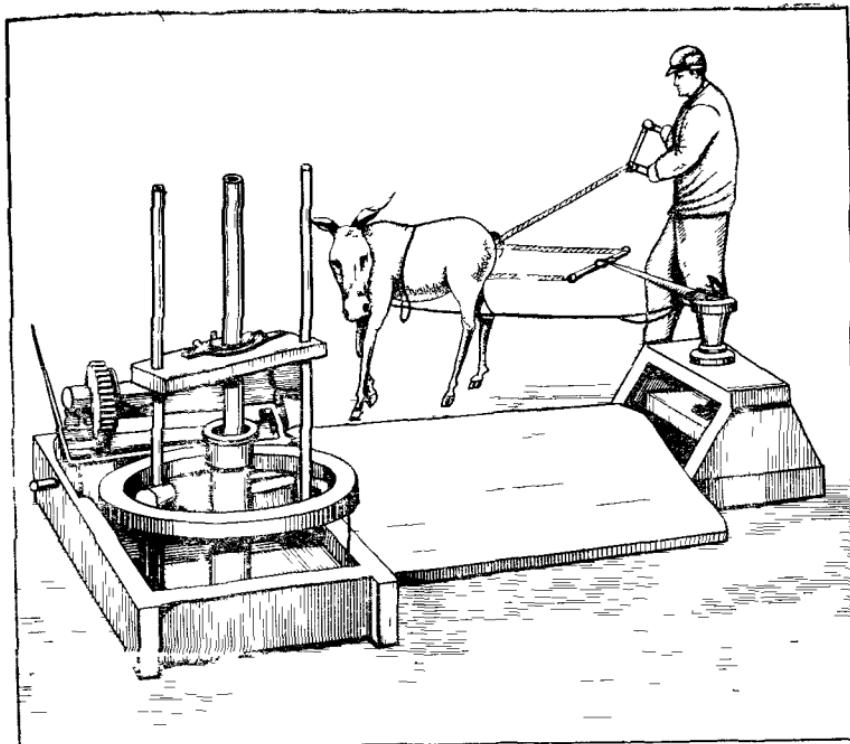


Рис. 3. Вращательный буровой станок мощностью в одну силу осла (90-е годы прошлого столетия, США)

Специальная буровая установка имеет вращатель, который приводит в движение колонну бурильных труб, сильно наклоненную к горизонту. Бурение ведется коронкой небольшого размера. По окончании бурения после выхода долота на обратном берегу реки скважина расширяется до размера, необходимого для продвижения трубопровода вслед за колонной бурильных труб. Положение скважины в пространстве контролируется специальным прибором. Сроки строительства перехода описанным способом были сокращены до одного месяца вместо обычных двух—шести. Новый метод сооружения элементов трубопровода считается весьма перспективным, его называют методом будущего.

Цели и задачи бурения с каждым годом все более расширяются, а техника развивается еще стремительнее. Кажется, совсем недавно, несколько более 120 лет назад, Россия гордилась первой в мире скважиной, пробуренной станком с приводом от парового двигателя.

Она была построена в 1859 г. в селе Ерино близ Подольска. Всеми работами руководил горный инженер Г. Д. Романовский.

Между тем в Америке еще в 90-х годах прошлого столетия на промыслах можно было видеть привод буровой установки мощностью в одну лошадиную силу, а точнее сказать — в одну ослинную силу... (рис. 3).

История разведочного бурения скважин богата и уходит в далёкое прошлое. Если же принять во внимание попытки человека использовать ротационный принцип сверления природного камня для изготавления предметов домашнего обихода типа сверленых бус, молотков, топоров, дверных опор — подшипников и мотыг, то истоки бурения сдвигаются в глубь ушедших веков.

ЗАРОЖДЕНИЕ СВЕРЛЕНИЯ

История бурения начинается с позднего палеолита, к периоду которого относят наиболее древние находки каменных женских бус и подвесок с отверстиями. К этому времени первобытный человек с достаточной мерой совершенства освоил процессы ударной обработки камня и его резания острым кремниевым лезвием. Сочетание приема резания с одновременным вращением инструмента стало естественным продолжением известных операций и привело к освоению нового технологического приема — сверления, величайшего изобретения неолита.

Если согласиться, что сверление отверстий в морских или речных разноцветных камнях или раковинах понадобилось женщинам для изготовления украшений и пуговиц, то родоначальником сверления впервые стала прекрасная половина древнего человеческого рода... По крайней мере, как можно предположить, первые инструменты для сверления были сделаны мужчиной по заказу или настоянию женщины.

Необходимость сверления отверстий в камне появилась также для инструментов, которыми пользовался только мужчина. Ему необходимо было иметь надежный каменный топор или мотыгу с рукояткой, закрепленной в отверстии. Сверление дало возможность первобытному человеку перейти на качественно новый этап изготовления орудий: от простых к составным. Не случайно появление сверления относят к тем революционным преобразованиям техники, которые поднимают человечество на более высокий этап своего развития.

Для наиболее ранних по времени каменных инструментов с отверстиями, по-видимому, способ получения отверстий был связан не только с чистым сверлением, но и с двусторонним долблением, и с последующей разверткой и шлифовкой отверстия. Впрочем, долбление и развертку отверстия тоже можно считать элементами операции сверления. Сейчас развертку в бурении называют расширением стволов скважины, а инструменты — расширителями.

На рис. 4 показаны простейшие древние каменные инструменты-проколки для получения отверстий в каменных или костяных заготовках.

Прокалывание сопровождалось вращательными движениями руки в четверть или половину оборота. Такой прием уже можно считать сверлением, о чем свидетельствуют следы этой операции на торцах проколки в виде круговых линий в плоскости, перпендикулярной к оси вращения.

Здесь не случайно приводится слово «сверление». Пожалуй, только в русском языке различается понятие сверления без связи с тем, в каком материале делается отверстие, и бурения — способа получения отверстия — скважины в каменной основе. В других языках такого различия нет или оно менее явное. Так, английское drilling или немецкое bohren в одинаковой степени означают как бурение, так и сверление. Их звучание и смысл как в горной, так и машино-строительной литературе одинаковы.

Поначалу роль сверла выполняла деревянная палка, на конце которой укреплялся заостренный камень. В Швейцарии, в историческом музее г. Берна, хранится топор, в искривленном отверстии которого сохранился защемленный деревянный обломок, вероятно, остаток сверла. Это одно из немногих в мире вещественных доказательств предположения современных археологов о материале древних инструментов.

Имеются находки кремневых наконечников для сверла. Одно из них в сечении имеет форму пятигранныка, что в современном представлении можно было бы считать весьма удачным конструктивным решением: для удаления мелкой каменной пыли были предусмотрены отверстия, позволяющие очищать сверленое отверстие без остановки вращения. Впрочем, рассуждали конструкторы древнего сверла подобным образом или нет, можно только предполагать.

Во Франции, в пещере Ла Ферраси, в 1921 г. были обнаружены плиты из сравнительно мягкого известняка с высверленными чашеобразными углублениями весьма правильной формы (рис. 5). Они могли быть получены только вращательным движением сверла с заостренным концом, снабженным более твердым, чем известняк, камнем. Этот пример убедительно свидетельствует, что древние люди интуи-

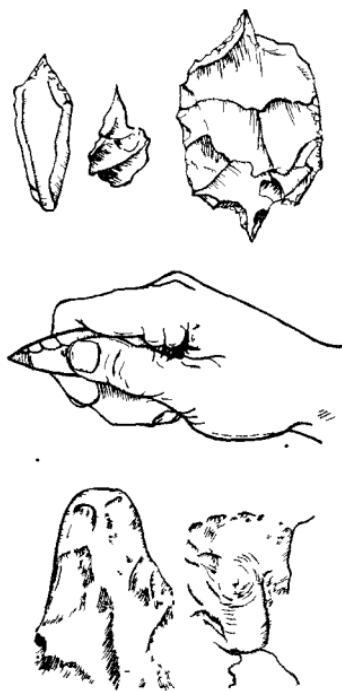


Рис. 4. Сверла-проколки, способ их применения и следы вращательного движения (вид в профиль и с остряя)

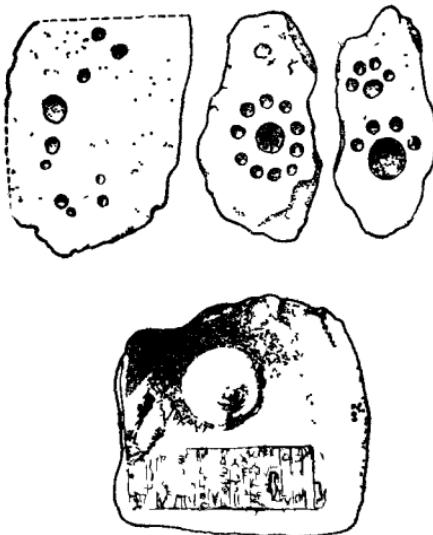


Рис. 5. Чашеобразные сверленые углубления в известковой плите. Внизу — подшипник дверной опоры. Надпись гласит о строительных работах в 2500 г. до н. э.

тивно, опытным путем, достаточно ясно представляли себе сравни-тельную твердость и, выражаясь современным языком, буримость горных пород различного состава. Твердость породы учитывалась и при выборе материала для заготовок каменных топоров и молотов: диорит, серпентин, разного рода сланцы, нефрит и другие материалы, сравнительно нетвердые, но вязкие и с малой хрупкостью.

Бурильщик каменного века обычно учитывал слоистость горной породы. Большинство отверстий в исследованных топорах направлено точно вкrest простирации слоев. Это облегчало получение правильного неискривленного отверстия (вот когда человеку уже были известны причины искривлений скважин!). Такой выбор направления сверления позволял избежать раскола каменной заготовки вдоль плоскости напластования при изготовлении отверстия

До тех пор, пока не появились металлические петли для дверных проемов, были широко распространены каменные упорные подшипники. Чашеобразные углубления подшипников у древнего человека

также получали сверлением. Подшипники считались большой ценностью, особенно в местностях, бедных камнем. В Древнем Египте, например, арендатор, останавливаясь в жилище, обязан был приносить с собой дверное углубление также, как и кушетку. Во дворцах и замках на подшипниках оставляли памятные надписи.

Сверленые углубления применялись также для сопряженной пары каменных подшипников гончарных колес.

Недавно на болгарском побережье на дне моря были обнаружены древние каменные якоря, имеющие возраст второй половины второго тысячелетия до н. э. Плоские камни, из которых они были сделаны, имеют сверленые отверстия для якорного пенькового каната.

Интересно, что на одном из египетских барельефов гробницы фараона Сахуры (середина третьего тысячелетия до н. э.) также просматривается каменный якорь аналогичной формы с одним отверстием.

Археологические раскопки дают богатый материал, иллюстрирующий образцы камней с просверленными отверстиями. Особенный интерес представляют орудия, по тем или иным причинам не завершенные до конца. Незавершенная операция позволяет проследить ход сверления и его технологические особенности.

На рис. 6 схематически и на готовых изделиях показаны примеры сверления. Коническое отверстие в камне свидетельствует о значительном наружном износе орудия — проблеме, волнующей буровиков и по сей день. Уже тогда было замечено, что наиболее производительно работают пустотелые сверла с тонкими, но достаточной прочности стенками — принцип, соблюдаемый до настоящего времени.

Двустороннее сверление практиковалось только сплошными сверлами, а одностороннее — кольцевыми. Это обстоятельство косвенно

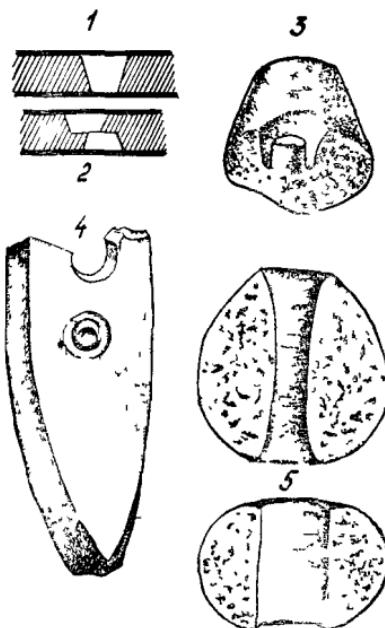


Рис. 6. Примеры сверления:

1 — коническое отверстие при работе с быстроизнашивающимся сверлом, 2 — ошибка двустороннего сверления: несовпадение осей встречных отверстий, 3 — столбик рудимент горной породы (керн), 4 — расколотая и заново начатая сверлением заготовка каменного топора, 5 — сверленые образцы булав

дает представление об оценке способов бурения древним человеком. Кольцевое бурение более надежное и в энергетическом отношении менее трудоемкое, хотя конструкция сверла оказывалась более сложной и хрупкой. Усложнение конструкции свидетельствует о более позднем происхождении таких сверл.

В глубоких двусторонних отверстиях поперечное сечение по длине не было постоянным, в средней части оно было наименьшим. С помощью кремниевых остроконечных приспособлений (прообраза современного скважинного расширителя) такие отверстия доводились до цилиндрической формы.

При сверлении в ослабленном отверстием месте случались поломки, поэтому сначала сверлилась каменная заготовка. После выполнения ответственной операции молоту или топору придавалась окончательная форма. Чаще всего среди найденных изделий с незаконченным отверстием наблюдаются встречные чащебразные углубления с двух сторон. Следы отверстия полыми сверлами, дающими кольцеобразные углубления, значительно более редки. В среднем диаметр отверстий составлял 12—45 мм, а максимальная глубина — 32 см.

Совершенно случайно в сверлении твердых горных пород роль резцов была возложена на дисперсный абразивный материал (мелкий песок и т. п.). Зерна песка стали своеобразным заменителем многочисленных мельчайших резцов, одновременное применение которых при других технологических приемах обработки камня стало бы просто невозможным. Включение в работу одновременно большого количества резцов при сверлении цилиндрическим трубчатым сверлом — одно из новинок неолита, позволивших улучшить обработку камня.

Так родился качественно новый способ сверления. Вода охлаждала сверло, связывала отдельные разрушенные частицы и облегчала их удаление.

К применению абразива при бурении в виде стальной или чугунной дроби человечество пришло в конце XIX в. при бурении дробовым способом. Этот способ существует и до настоящего времени. Так, в конце 20-х годов первые нефтяные скважины знаменитого Второго Баку в Чусовских Городках на западном склоне Урала были пробурены с помощью дроби.

У ИСТОКОВ ТЕХНИКИ БУРЕНИЯ

С веками, а может тысячелетиями, процесс сверления подвергался совершенствованию, появились первые сверлильные снаряды с ручным приводом и отдельными элементами машины — передаточным механизмом (рычагом) и орудиями (сверлами). Какими путями удалось этого достигнуть?

Сначала сверло вращали ладонями рук, затем стали применять ремешок, обвитый петлей вокруг сверла.

Ручной бур-сверло с ременным, веревочным или другим приводом, например из сухожилия, был широко распространен до тех пор, пока не был заменен коловоротом. За два конца веревки приходилось держаться двумя руками и двигать их попаременно в разные стороны. Это было неудобно. Тогда одна рука была освобождена за счет применения лука, концы которого стягивали веревку.

Изобретение ручного бура-дрели, по-видимому, произошло одновременно в различных местах Евразии, в том числе в Северо-Восточной Сибири и в Северном Китае в период культуры Янг-Шао, и относится к концу четвертого тысячелетия до н. э.

Дальнейшее усложнение конструкции сверла было связано с установкой каменного или глиняного маховика. Всем известна детская игрушка, состоящая из большой пуговицы, через два отверстия которой пропущена нитка. Если нитку многократно закрутить и периодически через 1—2 с растягивать ее концы, пуговица-маховик станет упруго вращаться в ту или другую сторону. Как видим, старые идеи сохранились и действуют поныне!

Как работало сверло с маховиком? Тетива винтообразно навивалась вокруг стержня сверла. При надавливании смычка вниз, за счет разматывания, тетива сообщала стержню сверла и маховику вращательное движение. Затем тетива наматывалась в обратную сторону, а смычок возвращался в прежнее положение. Вторичное сжатие лука вращало сверло в обратном направлении и т. д. Чем чаще сжимался смычок, тем быстрее вращалось сверло. Маховик повышал устойчивость конструкции, освобождал руки мастера и способствовал лучшему качеству сверления за счет центрирующей крестовины. На рис. 7 показаны этапы совершенствования сверла.

Непрерывное и равномерное сверление под воздействием инертной массы маховика — шаг, свидетельствующий о высокой изобретательности и наблюдательности древнего человека. Об этом же говорят изменения в конструкции сверла, диаметр которого в торце был в 2—3 раза меньше диаметра приводной части. За счет разности размеров удавалось уменьшить усилие на вращение — интуитивное использование закономерностей природы (принципа рычага во вра-

щательном движении) путем обобщения предшествующего трудового опыта. Такое обобщение в последующем неминуемо должно было привести первобытного конструктора к единству конструктивной формы и технологического процесса.

Аналогичный прием использовался и в отдельных конструкциях сверлильных станков.

Станочные приспособления эпохи неолита хорошо известны в различных вариантах. На рис. 8 показан сверлильный снаряд. Для всех конструкций характерно одинаковое выполнение рабочей части, включающей лук, тетива которого обмотана вокруг стержня сверла.

Движением лука длиной до 0,5 м из стороны в сторону достигалось быстрое и переменное по направлению вращение сверла. Изме-

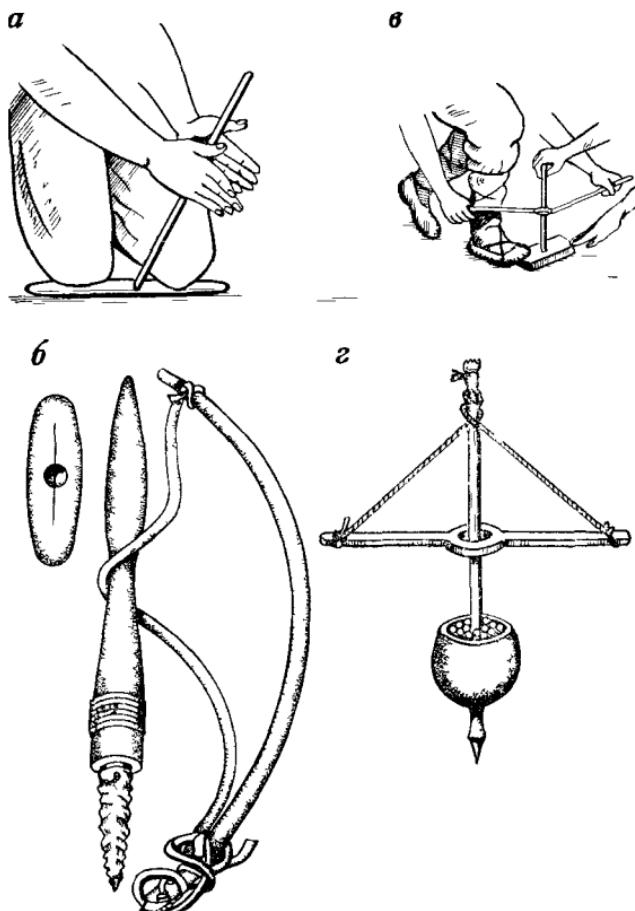


Рис. 7. Этапы совершенствования сверления: вращение сверла ладонями (а), ременной петлей (б), тетивой (в) и маховиком (г) с центрирующей крестовиной

нение направления вращения способствовало улучшению качества сверления отверстия, если даже поперечное сечение сверла несколько отличалось от круглого. Кстати, этот полезный для практики бурение прием до сих пор в современной технике почти не используется, а инструменты и станки для этой цели не разработаны.

Имело значение и то, насколько хорошо обработаны стенки отверстия в молоте, так как от качества стенок цилиндрического отверстия зависела надежность закрепления рукоятки. Вот почему в более поздних сверлильных станках появились усовершенствованные приемы сверления с применением центрирующих досок с отверстием для свободного вращения сверла.

Подобный станок в 20-е годы нашего столетия по материалам археологических находок был восстановлен Г. В. Ключанским. Он не только построил станок, но и с его помощью не без успеха бурил образцы самых твердых горных пород. На изготовление отверстий, подобных тем, что имеют молоты, уходило в среднем 2—3 ч.

Торец сверла имел конусообразную форму или полуую трубку. В первом случае незаконченное отверстие было чашеобразным, во втором — кольцевидным со столбиком неразрушенной горной породы.

РАЗМЫШЛЕНИЯ О БУСИНКЕ

На полуострове Песчаный неподалеку от Владивостока акад. А. П. Окладниковым при археологических раскопках были найдены древ-

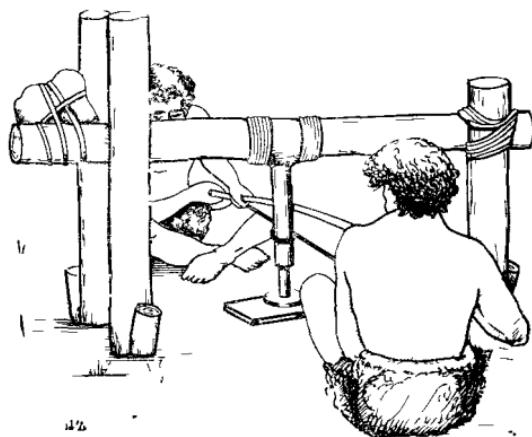


Рис. 8. Сверлильный снаряд эпохи неолита

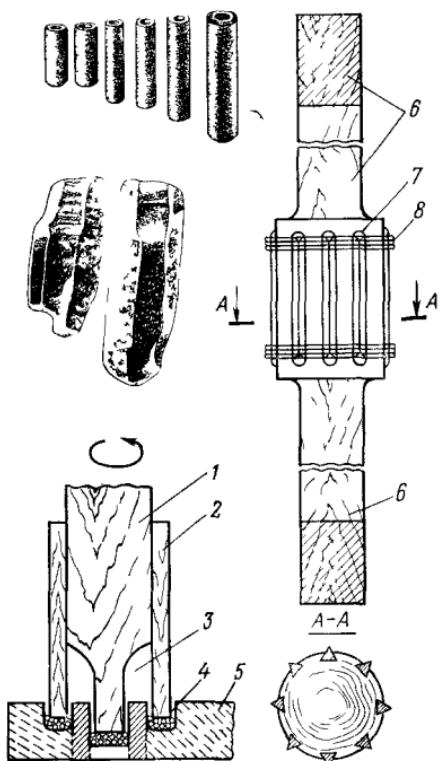


Рис. 9 Каменные цилиндрические бусы со следами встречного сверления (полуостров Песчаный, Владивосток, поздний неолит).

Внизу и справа — двойное деревянное сверло и развертка расширитель из комбинации призматических кремниевых пластинок 1 — внутренняя сплошная вставка, 2 — кольцевое сверло 3 — будущая бусинка, 4 — абразив, 5 — заготовка, 6 — рукоятки; 7 — пластиинки; 8 — бечева

бири. Первое, что бросается в глаза,— строго стандартные размеры бусинок и отверстий в них. Поскольку бусинок множество, то и изготовление их было массовым. Можно предположить, что при изготовлении бусинок не обошлось без специального инструмента. Об этом свидетельствует также достаточно строгая концентричность отверстий.

По-видимому, бусы изготавливались из хорошо обработанной плотской каменной плиты — заготовки, на поверхности которой сверлились отверстия. Действительно, среди бус найдены плоские пластин-

ние бусы со сквозными цилиндрическими отверстиями. Наибольший интерес представляют бусы, расколотые при неудачном сверлении и показывающие способ сверления. Бусы сверлили с двух торцов, о чем свидетельствует несовпадение встречных каналов (рис. 9). Абразивным материалом служил песок, насыпавшийся под торец сверла. Впрочем, имеются указания об изготовлении бус с помощью алмазных, корундовых или кремниевых сверл. Эти абразивы использовались в виде крупного единичного зерна или раздробленного порошка. Алмазное бурение, широко распространенное в наше время, имеет, таким образом, весьма давнюю историю.

В Археологическом музее Института истории, филологии и философии Сибирского отделения АН СССР А. П. Окладниковым и его сотрудниками собрана обширная коллекция бус из раскопок на территории Си-

ки со следами сверления. Размеры отверстий и бус совпадают. В пользу пластинки как исходного материала говорит и строго одинаковая толщина бусинок.

На рис. 9 показана вероятная конструкция инструмента, составленного из двух деревянных стержней, закрепленных между собой путем замачивания или заклинивания абразивным материалом. Наружный стержень полый и мог быть изготовлен из тростника.

Под торцы стержней насыпался мелкий абразивный песок. Возможно, отдельные песчинки просто вдавливались в мягкий деревянный торец и таким путем закреплялись в нем. Дальнейшее сверление плиты проводилось в обычном порядке. Описанный инструмент давал возможность получать множество одинаковых заготовок-бус для дальнейшей уже более легкой операции шлифовки и отделки.

Не исключался и другой вариант изготовления: сначала сверлилось внутреннее отверстие бусинки, в него для центровки вставлялся внутренний стержень двойного сверла, и только после этого окончательно высверливалась сама бусинка. Для массового изготовления бусинок этот вариант был менее предпочтителен из-за больших затрат времени.

Можно ли говорить всерьез о массовой стандартной продукции в древние времена? Вопрос этот весьма важен для оценки не только способностей древнего человека, но и последующих десятков и сотен поколений. Ведь именно с начала серийного производства идут истоки современной технологии.

Ответ на вопрос следует искать в самой технике каменного века. Оказывается, в те времена было широко налажено массовое производство кремневых призматических пластинок длиною 2—15 см, которые находят при раскопках древних стойбищ. Без сомнения, они служили заготовками для наконечников стрел и копий, скребков, ножей, разверток и других орудий.

Эти заготовки могли быть использованы как обменный материал между соседними племенами. Благодаря обмену и конкуренции росло мастерство изготовления, качество пластинок, возникали новые орудия и инструменты для увеличения производительности труда.

Бусы и другие украшения для женской половины древнего общества также со временем превратились в обменный фонд, потребность в них постоянно росла, а отсюда — необходимость изготовления бус новыми, более совершенными орудиями. Не отказывая древнему человеку в высокой изобретательности, согласимся с тем, что усложненная конструкция сверла, описанная выше, была вполне возможна. Сравнивая эту конструкцию с современными устройствами для бурения скважин, нетрудно найти некоторые об-

щие черты, характерные для так называемых двойных колонковых труб, применяемых геологами-разведчиками.

Уже говорилось о призматических пластинках, применявшимися в качестве разверток для получения цилиндрических отверстий в каменных изделиях (см. рис. 9). Современные расширители для скважин, например алмазные, имеют почти такую же конструкцию, но делаются они, разумеется, не на деревянной основе.

В 50-х годах в Англии вышла интересная книга под названием «История технологии» — своеобразная энциклопедия техники древнего мира. Много внимания в ней было уделено вращательному движению и операциям, с ним связанным, в том числе сверлению. В этой книге можно увидеть древнеегипетское изображение работающих мастеров, сверлящих заготовки для бус (рис. 10). Рисунок был скопирован с башни в Тибесе и относится к 1450 г до н. э. Конструкция сверла тройная, а привод его лучковый. Рядом с мастером показан помощник, нанизывающий бусы на нить ожерелья. В правой руке он держит готовую бусинку. В сечении, если внимательно присмотреться, бусника имеет овальное, эллипсовидное отверстие. Именно для такого отверстия и понадобилось сверло. Отверстие сразу получалось нужной формы.

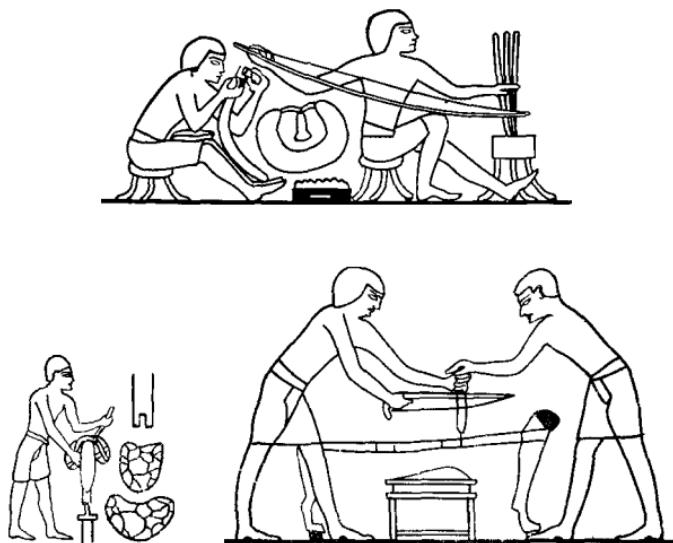


Рис. 10. Изготовление бус тройным сверлом в Древнем Египте (вверху)

Внизу — сверление каменного сосуда. В увеличенном виде показан торец стержня и кремниевые буры. Справа — операция лучкового сверления у египетских плотников (1450 г до н. э.)

Тройное сверло, в котором одновременно происходит вращение всех сверл, — необычная конструкция. Даже в наше время трудно найти подобную аналогию — столь непривычно оно выглядит.

В музее Сибирского академгородка хранится мельчайшая бусинка, которую нашел археолог Ю. П. Хомошкин в районе Усть-Кяхты (Сибирь). Размер бусинки — около 1 мм, внутренний диаметр отверстия не превышает 0,5 мм, а возраст находки — 9—11 тыс. лет до н.э. (!)

Бусинку удалось обнаружить после промывки земли с пола древнего жилища. Глядя на нее, не знаешь, чему больше удивляться: искусству мастера каменного века или тщательности работы археолога, догадавшегося добыть промывкой столь миниатюрную вещь.

Как было просверлено внутреннее отверстие малого размера и в столь отдаленные от нас времена? Об этом можно только гадать и одновременно восхищаться мастерством и догадливостью людей.

ОТ ДРЕВНЕГО ЕГИПТА ДО СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Уже Древний Египет среди множества документов, свидетельствующих о развитии его культуры, оставил нам изображения операции сверления каменных (не глиняных!) сосудов (см. рис. 10). Сверло вращалось коловоротом. Подвески груза из двух мешков с песком создавали необходимое давление на сверло. Для рассверливания использовались сменные буры-полумесцы из кремния. Они крепились в пропиле на конце стержня. Находки таких полумесцов неоднократно отмечались археологами. В процессе расточки полость сосуда заполнялась водой для охлаждения и удаления продуктов разрушения породы.

Среди музейных экспонатов 5000-летнего возраста имеется медный прут с трубкой на конце. Этот древнейший буровой инструмент применялся для получения отверстий в строительных каменных блоках. Монолит разрушался абразивным песком, находящимся под торцом медной трубки. Трубка вращалась вручную и заливалась водой.

Роль сверления в древнеегипетской каменной культуре постепенно росла. Сверленые отверстия находят в ювелирных изделиях, в отдельных элементах скульптур и пирамид. Без них не обходится

военное дело, в частности при сверлении отверстий в крепостных стенах.

Есть указания о совершенствовании техники бурения (именно бурения, а не сверления) в Древнем Риме. Так, для инженерно-геологических изысканий при строительстве дворцов применялся ложковый бур, мало чем отличающийся от современного.

Зарождение собственно бурения, т. е. получения глубокого отверстия в недрах Земли, обычно относят к III—VI в. до н. э. на территории Китая. Примечательно, что технологические особенности китайского бурения почти не имеют каких-либо общих черт с описанными выше способами сверления. Отличие заключается в том, что скважины бурились без вращения, инструмент для разрушения породы углублялся за счет удара. Подвешивался он на канате. Много позднее такое бурение называли ударно-канатным, оно существует и поныне.

Успехи ударно-канатного способа поначалу были настолько велики, что вращательное бурение, известное в далекой древности, надолго — на несколько столетий — было забыто. Возрождение его отмечается во времена Леонардо да Винчи.

Философ Конфуций за 600 лет до н. э. уже сообщал о китайских скважинах глубиной до 500 м. Этот рекорд глубины был перекрыт только в XIX в.

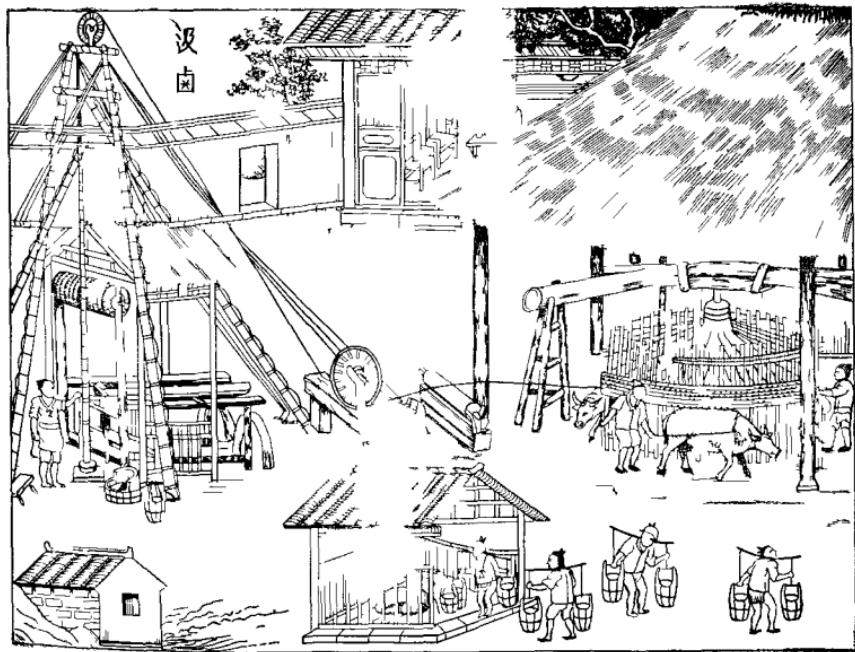
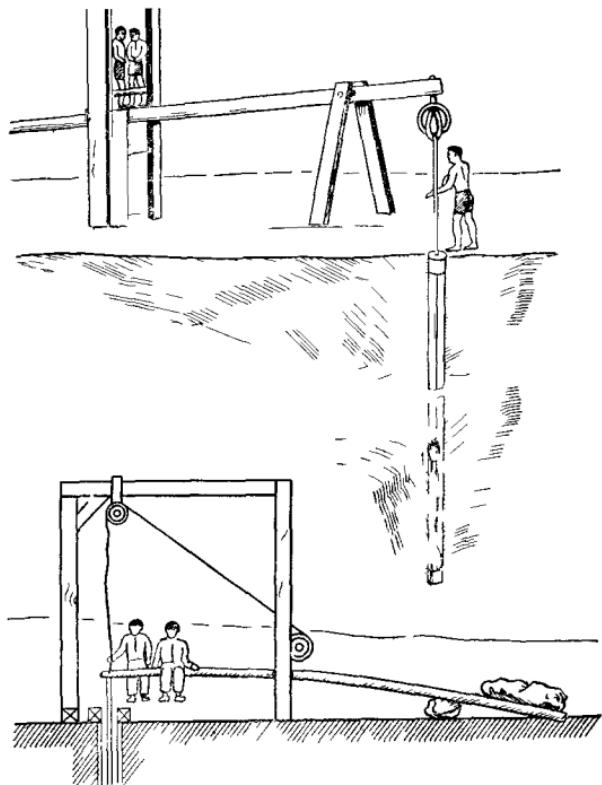
Скважины бурились для добычи соляных растворов и питьевой воды. Иногда вместе с ними получали газ и даже нефть. Общее представление о наиболее ранних конструкциях буровых установок дано на рис. 11. Ударный импульс на инструмент создавался упругим качанием балансира, зажатого в земле.

Дальнейшее совершенствование китайской техники бурения привело к появлению более сложных установок, где кроме рабочей живой силы использовались животные (см. рис. 11). Опоры буровой вышки изготавливались из бамбука. Впрочем, из бамбука делалось все: трубы, инструменты, даже буровое долото. Устье скважины во избежание обрушения закрывалось каменной плитой с отверстием. Для аварийных случаев были созданы многочисленные конструкции различных вспомогательных инструментов. Максимальная глубина скважины достигала 1200 м.

Однако самое странное состояло в том, что изобретение китайцев с веками почти не изменялось. Французы Г. Имберт и А. Гумбольдт, побывавшие в Китае в начале XIX в., описывали китайский метод бурения таким, каким он был около 2,5 тыс. лет назад.

Китайский способ бурения стал известен в Европе спустя много столетий, поэтому возможность независимого его изобретения европейцами почти исключена. Есть сведения, что во времена татарского

Рис. 11. Варианты китайского способа ударно-кашатного бурения, включая простейшие



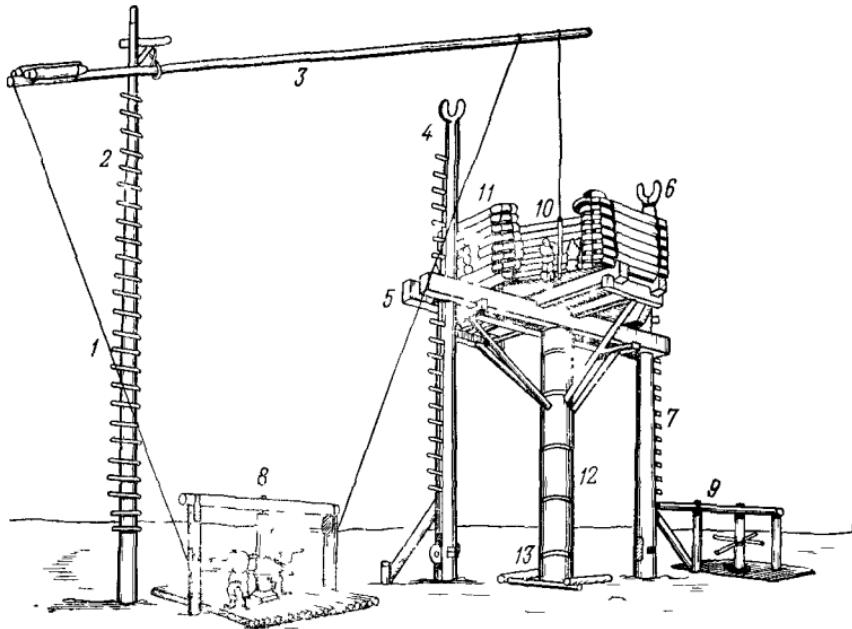


Рис. 12. Бурение под рассолоподъемную трубу на Балахонском Усолье:

1 — канат, 2 — очап, 3 — коромысло; 4 — соха; 5 — переклад; 6 — развилка для привязных блоков; 7 — лестница, 8, 9 — ворот с блоками для буровых операций и спуска труб; 10 — веселая труба; 11 — изба, 12 — обсаженная труба; 13 — матица

господства, простиравшегося до юга России, сведения о китайском бурении проникли к русским, а затем — на Запад. По другим данным, определенная заслуга приписывается знаменитому путешественнику Марко Поло (1291 г.) — уроженцу острова Корчула.

В России в XI—XIII вв. в районах Усолья, Соли-Камской и Балахны зародилась своя, отличная от китайской, технология бурения скважин на рассолы. Первые рукописные упоминания о соляных промыслах относятся к 1332—1370 гг., но бурение началось много раньше. До сих пор масштабы буровых сооружений тех лет поражают наше воображение (рис. 12). Как много знали и умели наши далекие предки! Для того времени подобная техника была уникальной. В России была создана своя техническая терминология, самобытная и совершенно не подверженная иностранному влиянию.

Диаметр соляных скважин был ≈ 1 м, а глубина превышала 100 м. Даже для современной техники бурение таких стволов-шахт — дело далеко не простое.

Соляной раствор добывался через рассолоподъемные трубы. Они имели трехступенчатую конструкцию: верхняя называлась матицей, вторая — обсадной, третья — веслой. Трубы были деревянными, металлические трубы (сначала клепаные) появились в бурении только в XIX в.

Поначалу матицы делались из цельных деревьев с выбранной серединой. Потом они составлялись из отдельных брусков, скрепленных просмоленным холстом, а позднее — железными оковами.

Высота журавля (он назывался очапом), достигала 18 м, т. е. по высоте буровое устройство достигало современных размеров. Это позволяло спускать в скважину отдельные секции труб длиной до двух десятков метров. Коромысло журавля имело длину 20 м. На одном из его концов укреплялся контргруз. Ручной ворот оригинальной конструкции с вертикальным расположением оси служил для получения качательных движений инструмента.

Буровой инструмент доставлялся в скважину на деревянных шестах, по современной терминологии — штангах. Отдельные инструменты того времени имели весьма примечательные, чисто русские названия: шелом, подгубное долото, трезубец и др.

В Балахонском Усолье в XIV—XVI вв. буровое оборудование было еще более усовершенствовано. Усложнения конструкции, причиной которых стала необходимость бурения на глубину до 250 м, в первую очередь коснулись способа принудительного спуска обсадных труб и устройств, необходимых для подъема тяжелых узлов. Стали раздельными подъемные устройства для бурения и спуска труб.

Такая техника применялась в Балахне и Соликамске вплоть до 70-х годов XIX в. До сих пор в Балахнинском краеведческом музее (Горьковская область) хранится часть деревянной солеподъемной трубы.

Следует упомянуть одну из интереснейших исторических находок, сделанных в 60-х годах прошлого столетия. В г. Тотьма (Вологодская обл.), было найдено одно из первых рукописных руководств по бурению скважин, датированное XVI в. Оно называлось «Роспись как зачать делать новая труба на новом месте».

По материалам рукописи был составлен словарь старорусских технических терминов по бурению, содержащий 128 названий. В основе их — коренные русские слова. Интересно, что буровики назывались тогда трубными мастерами, а скважины — трубами.

Бурение рассолоподъемных скважин было весьма дорогой, тяжелой и продолжительной операцией. Такие работы были не под силу отдельному владельцу или даже монастырю. Поэтому юриди-

ческие права на бурение скважин и откуп земли давались в те времена на государственном уровне — грамотой от царя.

Бурение в России широко применялось в XVI—XVII вв. для водоснабжения. Так, в писцовой книге 1545 г. Старая Русса в списке жителей города числятся: трубные соляные мастера — 8; рукавщики — 3; трубники — 1; бочары — 1; ведерники — 2.

Трубные мастера работали не только в Центральной России, но и на Урале и восточнее его.

В 1568 г. в купчей Кириллова монастыря Двинского уезда упоминаются площади «с варницами.. и с трубами, ...да шестнадцать буравов железных, трубы вертят». Запись весьма примечательная. Она свидетельствует о размахе буровых работ — шестнадцатью буравами можно пробурить множество скважин. На соляных месторождениях Руси возобновился вращательный способ бурения, отличный от ударно-канатного. Таким образом, оба способа бурения развивались параллельно примерно в одно и то же время.

На Урале в петровские времена широко использовались специалисты из Германии. Они разработали не только технологию, но и сделали все возможное, чтобы вытеснить русскую терминологию. Именно тогда в русскую речь вошли термины «борование — бурение — бурение».

Вероятно, первое описание бурения на рассолы с рисунками было дано В. де Геннин в 1734 г. Им описаны соляные заводы в Дедюхине и у Соли-Камской по речке Усолке. Он пишет: «..на оных местах проходят землю буром до росолу и в действе одиого бура, егда вынимаетца земля, усматриваетца прилежно, дабы не пройти жилы росолу, которым буром оной росол сыскиваетца в разных мерах сажен от 20 до 30». Далее следует подробное описание размеров труб, «опущаемых в землю».

В. де Геннин попытался провести исторический экскурс и выяснить, откуда на Руси появился столь необычный способ бурения: «А откуду таково исканье издревле произошло, такого бурования с разными инструментами нигде в описании сыскать невозможно, и признаетца больше, чем оное искусство от других краев достато. А для виду куриозитету, как оное бурование производится, прилагаетца профиль на... странице».

Не смог В. де Геннин допустить и мысли о возможности изобретения русскими своего, самобытного способа бурения! Прием не только не новый, но и повторяющийся позднее в адрес русских из века в век, всякий раз, когда они удивляли мир необыкновенными открытиями.

Старый опыт русского бурения, конечно, не мог остаться полностью потерянным и помогал быстро и надежно осваивать немец-

кую технику и технологию. На уральских рудниках и заводах Демидовых к середине XVIII в. специальность бурильщика была широко распространена на буровзрывных работах в шахтах и карьерах, о чем свидетельствуют многие архивные документы. Так, в Нижне-Тагильских архивах записано: «Бурельщик Иван Петров, родом из Московской губернии.. пришел на завод.. работает на заводе рудным бурельщиком, плату получает 8 коп. в день».

Буровзрывное дело с тех пор стало на уральских рудниках основным видом горных работ.

До сих пор в книге рассматривались наиболее характерные узлы бурового устройства, непосредственно связанные с разрушением горной породы. Но буровой станок, как и всякая машина, содержит механизмы общетехнического назначения: передаточный механизм (коробка скоростей, как ее называли бы теперь), тормозное устройство, талевую систему, вышку и т. д.

Еще в Древнем Риме существовали подъемные устройства, содержащие все современные элементы подъемной вышки, включая многоблоковые полиспасты. Подъемные машины принципиально ничем не отличались от современных. Известны даже одноопорные устройства вышек, по изяществу инженерного исполнения вполне соперничающие с самыми новейшими современными подъемными кранами. Все машины были деревянными, металл начали применять много позже, но общее инженерное решение подъемников было достаточно совершенным и ушедшие века мало их изменили. В бурении, как и в других областях техники, основы технологии, или принцип работы, как правило, не меняются многие десятки и сотни лет. Чаще всего наблюдается постепенное улучшение отдельных элементов, способствующее облегчению условий труда или транспортировки объекта, механизации или автоматизации отдельных трудоемких операций и т. д.

Эта общая закономерность в развитии большинства направлений техники, а отдельные революционные решения скорее подтверждают общее правило, чем исключают его.

В машинах средневековья мы встречаемся с остроумно разработанными цевочными, реже — зубчатыми передаточными механизмами, с фрикционным тормозом — узлами, обязательными для современных буровых устройств.

В качестве привода использовали животных и энергию падающей воды. Уже тогда были сконструированы необычные сверлильные станки, например для высверливания каналов в пушечных стволах. Станок приводился в движение водяным колесом. Характерной деталью станка, роднящей его с более поздними конструкциями буровых и сверлильных устройств, является механизм принуди-

тельной подачи сверла. Он выполнен в виде ворота, канат которого привязан к скользящей тележке.

Таким образом, отдельные общетехнические элементы машин, в том числе буровых, появлялись и развивались значительно раньше и быстрее, чем комплексные устройства узкоцелевого назначения. В противном случае техника не развивалась бы столь успешно как в прошлом, так и теперь.

ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ — БУРОВИК?

Содержание заголовка, несмотря на удивление, которое наверняка появилось у читателя, имеет достаточно надежную документально-историческую основу. Об этом стоит поговорить, тем более что история бурения, как мы уже выяснили, самым тесным образом связана с историей человечества вообще и, в частности, с историей средневековья, когда жил, работал и творил великий Леонардо да Винчи.

В Западной Европе одним из первых изображений скважины считают рисунок итальянца Джiovanni Fontana в его «Книге

приборов для ведения войны» (1420 г.).

Спустя 10 лет в Италии был опубликован первый для Европы чертеж бурового вращательного устройства для сооружения колодцев. Устройство имело буровую фрезу, иначе ее и не назовешь, она вращалась вручную за крестовину-перекладину.

Наконец, в документах гениального Леонардо да Винчи, датированных 1500 г., мы находим чертеж буровой установки с треногой (рис. 13), столь изящный, что не зная его происхождения, можно было бы счесть рисунок за современный эскиз инженерной разработки для ручного бурения. И неудивительно, деятельность Леонардо да Винчи поражает нас именно этой характерной особенностью, многое, созданное им, было заново переизобретено позднее.

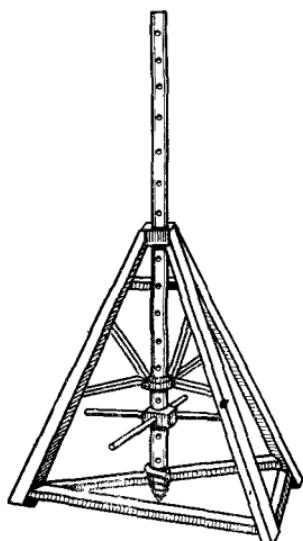


Рис. 13. Собственноручный эскиз бурового станка Леонардо да Винчи (1500 г.)

В буровой установке все просто и рационально. Предусмотрен буровой наконечник со змеевинкой (теперь его называют шнеком), удобная рукоятка-крестовина для ручного вращения штанги, отверстия в штанге по всей ее длине для перестановки крестовины по мере углубления бура и многое другое. Леонардо да Винчи предусмотрел в установке все необходимые дополнительные инструменты и устройства. Так, с целью изготовления обсадных деревянных труб им было придумано устройство для сверления деревьев. Проект был использован для бурения многочисленных скважин на воду во Франции.

Как и в России, главное назначение бурения в средние века состояло в поисках и добывче питьевой воды. В 1590 г. французом Бернардом Палисси было предложено, кроме сооружения отверстия в земле, отбирать пробы почвы (по современному — керны) для исследовательских целей. Нельзя назвать это предложение пионерским поскольку, как мы отмечали, инженерными исследованиями скважин занимались еще в Древнем Риме. Однако в опубликованном виде это предложение появилось впервые и широко используется до сих пор. Можно полагать, что Бернард Палисси о достижениях Древнего Рима в области бурения ничего не знал...

Наиболее ранним и в то же время наиболее близким к современным конструкциям было описание бурового станка И. Леманна (1714 г.). Оно включало все современные элементы: треногу, ручной ворот, штанги, инструменты для спуско-подъемных операций. Бурильные трубы соединялись между собой резьбовыми соединениями и имели выточки для подкладных вилок. Все эти элементы конструкции труб сохранились до нашего времени.

В ранней французской энциклопедии, изданной в 1751 г., бурению было уделено значительное внимание как производственному процессу, играющему заметную общественную роль. На одной из страниц был помещен рисунок ручного бурения шпурков на уступе горного карьера.

В середине XVIII в. существенное улучшение буровых устройств пришло из Голландии. Там были изобретены спиралеобразные буровые головки, смонтированные вместе с желонкой. Сейчас такие устройства называются шламовыми трубами и применяются в колонковом разведочном бурении на твердые полезные ископаемые. На рис. 14 показан общий вид голландской буровой установки со специальным устройством, создающим давление, а в необходимых случаях и удар на буровую штангу. Одновременно работает приспособление для создания вертикального направления ствола скважины.

В начале XIX в. широкое развитие получило скважинное водоснабжение крупных городов и, особенно, войск в военных полевых условиях. Появляются буровые вышки под навесом для укрытия рабочих от непогоды. Буровые инструменты постоянно улучшались и в основе своей мало чем отличались от современных

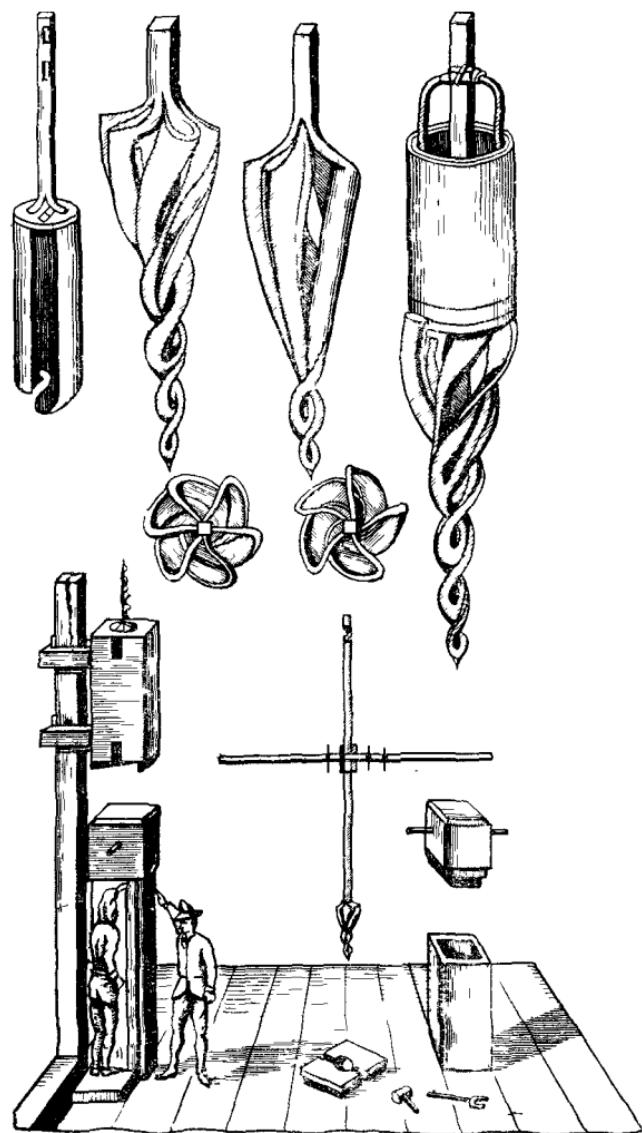


Рис. 14. Голландская буровая установка (XVII в.)

Во второй половине XIX в. принципиально новых методов бурения не появилось. Продолжалось совершенствование существующих способов, улучшение отдельных технологических приемов, постепенное применение машинных приводов — от парового до электрического — и двигателя внутреннего сгорания.

ЗАБЫТЫЕ И ВНОВЬ РОЖДЕННЫЕ ПРОЕКТЫ

Вернемся к старинным техническим книгам.

Близкое знакомство с теми проблемами, которые когда-то волновали горных техников прошлых лет и веков, позволило сопоставить их решения с современными конструкциями и технологией. И вот тут-то обнаруживается любопытная особенность: многое из того, что мы сейчас имеем и считаем достижением своего времени, в тех или иных вариациях уже строилось, создавалось нашими предшественниками.

В рассказе о сверлении бус древним умельцем мы уже упоминали о способе получения большого отверстия тремя сверлами малого размера. При одновременном сверлении тремя инструментами получалось овальное отверстие, скорость получения которого была, возможно, меньше сверления одиночным сверлом, но трудоемкость ручной работы снижалась. Для мастера-одиночки, занятого изготовлением большого количества бусинок, последнее обстоятельство имело решающее значение.

С подобной по трудности задачей человечество столкнулось вновь при вращательном бурении шахтных стволов большого диаметра уже в наше время, в середине двадцатого столетия. Буровое оборудование для проходки шахтных стволов по мере увеличения их диаметра становилось все более громоздким и тяжелым. Стало ясно, что традиционными путями бурение шахт развиваться не сможет. Понадобился новый инструмент, не отличающийся по массе и размерам от обычного, но способный проходить скважины любого сечения. Решение задачи — получение скважины с попеченным размером, значительно большим, чем диаметр долота, было получено после изобретения Г. И. Булахом строенного турбобура (рис. 15). Такой метод бурения получил название турбинно-реактивного. Конструкция представляла собой систему из трех серийных турбобуров, жестко закрепленных параллельно друг другу. При прокачивании промывочной жидкости через турбобуры вращалось не только каждое из долот, но и вся система в целом вокруг

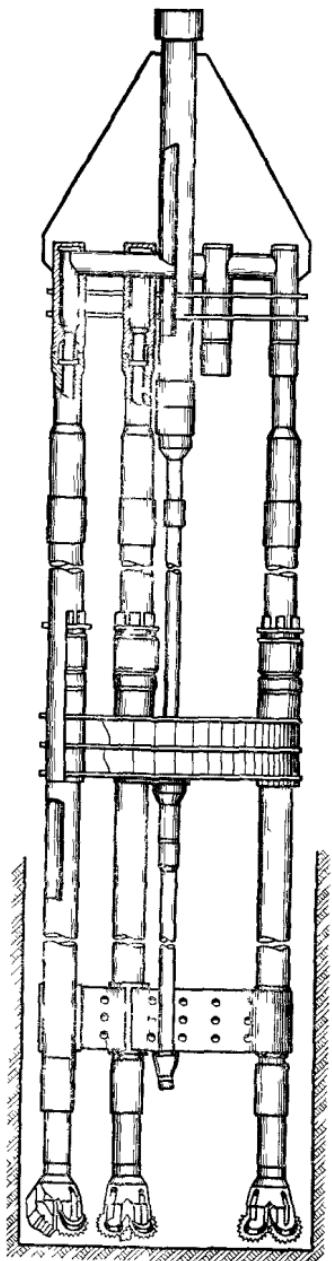


Рис. 15. Строенный турбобур

оси симметрии скважины. Это происходило за счет сложения реактивных моментов, возникающих на валах турбин. В результате долота, подобно планетарному редуктору, получали дополнительное сложное переносное движение. Ствол шахты имел строго цилиндрическую форму.

Опыт бурения шахт описанным способом показал одну очень интересную особенность: скважины всегда были вертикальными. Причину такого явления, необычного для бурения, следует искать в сложном движении рабочих элементов долота: вращением шарошек вокруг оси, осей долота и скважины одновременно

Как видим, древний технологический прием при бурении шахт удачно возродился вновь, но, конечно, на основе современных возможностей техники. Кстати, лучковый привод сверла предполагает попереинное изменение направления вращения сверла. Это не только обеспечивает и облегчает непрерывное движение сверла, но и повышает качество сверления: отверстие по форме становится более правильным.

В геологоразведочном бурении на твердые полезные ископаемые находит применение своеобразный способ борьбы с искривлением скважины. Он заключается в том, что отдельные участки ствола проходятся при левом или правом направлении вращения колонны бурильных труб и бурового наконечника. Сечение ствола скважины в этом случае из овального становится круглым и устраняется одна из причин искривления. Кроме того, при бурении в горных породах, характеризующихся

равномерным распределением механических свойств в различных направлениях (изотропных породах), при вращении труб только в одну сторону, чаще всего вправо (по часовой стрелке), возникает и становится основным боковое отклоняющее усилие за счет так называемого явления девиации. Скважина отклоняется вправо подобно тому, как это случается с вращающимся и летящим артиллерийским снарядом. Конечно, отклонение при бурении много меньше, чем у снаряда, так как поступательная скорость движения снаряда и буровой коронки несравнимы. Но все же при отсутствии других, более значительных внешних причин отклонение скважины от заданного направления, например вертикального или наклонно направленного, вполне возможно. Здесь-то и помогает попеременное изменение направления вращения бурильных труб на отдельных участках скважины.

Повторение забытых технических решений на новом, более высоком витке спирали развития человеческого общества, случается гораздо чаще чем мы это привыкли себе представлять.

В 1904 г. в книге «Руководство к бурению скважин» И. Н. Глушков описал опыт алмазного бурения, впервые использованного на Турынских рудниках. Интерес у современного читателя могут вызвать в книге особенности работы колонковой трубы, названной в книге ленточной штангой (рис. 16). Колонковая труба обычно находится в самой нижней части скважины у забоя. При бурении кольцевым забоем она заполняется столбиком горной породы, так называемым керном, и служит вместилцем для него до тех пор, пока не будет извлечена из скважины.

Название ленточной она получила из-за наружных лентообразных спиральных выточек с шагом 15 см. В наше время ее бы назвали шнековой трубой, поскольку спираль-шнек предназначалась для лучшего удаления с забоя скважины частиц выбуренной горной породы — шлама.

Алмазное бурение обычно применяется при проходке очень твердых горных пород. Твердые частицы породы удаляются из скважины потоком промывочной жидкости, циркулирующей внутри бурильных труб (прямой поток), и в затрубном пространстве — обратный поток. При такой технологии очистки скважины роль шнековых витков на колонковой трубе незначительна. Поэтому уже в начале XX в. шнеки при бурении твердых горных пород перестали применяться и о них почти забыли.

Шнековое бурение сохранилось лишь при бурении мелких скважин в мягких и вязких горных породах.

Но вот в конце 60-х — начале 70-х годов XX в. шнеки снова, как будто на основе взаимосогласованного технического решения и,

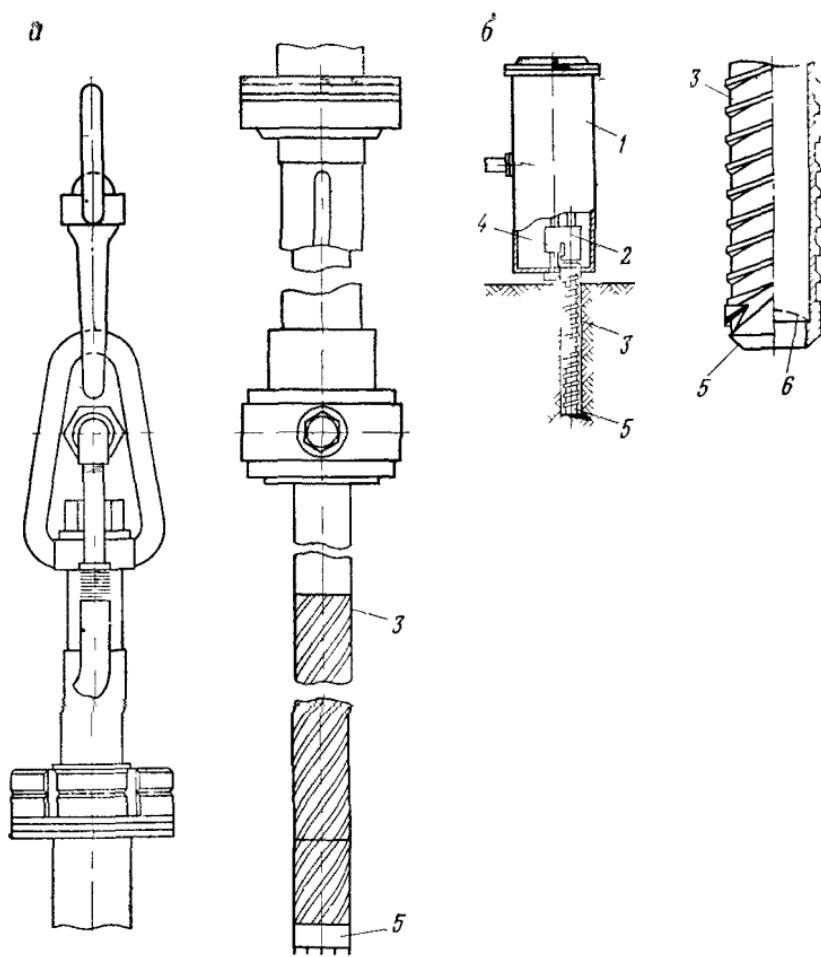


Рис. 16. Ленточная труба (а) бурового станка начала XX в. и шнековая труба (б) бурового устройства автоматической межпланетной станции «Луна-16»:
1 — корпус; 2 — вращатель; 3 — шнековая колонковая труба; 4 — винт подачи;
5 — коронка; 6 — кернорватель

разумеется, независимо друг от друга, появились в ручных и автоматических буровых станках для лунного бурения как у нас, так и в США. Одной из причин появления точно таких же шнеков, как и в 80-х годах прошлого столетия, была потребность в станке, с одинаковым успехом работающим как в твердых, так и в мягких породах.

На рис. 16 для сравнения показана шнековая бурильная труба для одной из конструкций лунного бурового станка.

Любопытная деталь: соединение отдельных бурильных труб, в том числе и колонкой ленточной трубы, у И. Н. Глушкова ■

соответствии с терминологией тех лет называлось «середышем». Теперь оно именуется замковым или замково-ниппельным.

Долото, необходимое для бурения, опускают в скважину на колонне бурильных труб. Каждая из труб, а их в многокилометровой колонне не один десяток, в процессе подъема и спуска долота соединяется между собой неоднократно. По этой причине спуско-подъемные операции в бурении по затратам времени нередко занимают первое место, особенно по мере роста глубины скважины.

Казалось заманчивым иметь гибкую иеразъемную колонну, которую можно было бы наматывать на барабан так же, как, скажем, трос, шланг или кабель. Выгоды во времени здесь настолько очевидны, что любые пояснения просто излишни. Еще в начале века в упоминавшейся книге И. Н. Глушкина был опубликован проект бурения на гибком шланге (рис. 17). Его основные элементы включали гибкий шланг, забойный двигатель и барабан для наматывания шланга.

Проект не был осуществлен. По тем временам не оказалось ни надежной конструкции забойного двигателя, врачающегося потоком промывочной жидкости, ни специальной конструкции шланга, способной вынести значительные и многообразные нагрузки в стволе скважины при бурении. Идея оказалась рожденной не ко времени и была забыта.

Но вот, спустя почти 60 лет, инженеры вновь вернулись к старому проекту. Задача оказалась нелегкой, хотя и обещающей в случае ее решения огромные выгоды. Сложность задачи можно оценить следующим интересным примером: за решение ее взялась межгосударственная проектная организация, объединяющая специалистов СССР и Франции. На рис. 17 показана одна из таких конструкций. Легко заметить, что все основные элементы проекта начала нашего века здесь полностью сохранены, в том числе и принудительно-подающее устройство, — правда, заметно модифицированное.

Успеху работ способствовало прежде всего создание в СССР надежного забойного двигателя — турбобура. Вполне удовлетворительную конструкцию прочного, но гибкого шланга создали французы. На основе этих двух удачных разработок и родился современный проект буровой установки на гибком шланге.

Наверное, будет не лишним назвать некоторые отличительные особенности нового способа бурения, так мало знакомого не только широкому кругу читателей, но и специалистам, близким по своим интересам к бурению. Метод, опытно-конструкторские разработки которого сейчас в основном сосредоточены во Франции, позволяет,

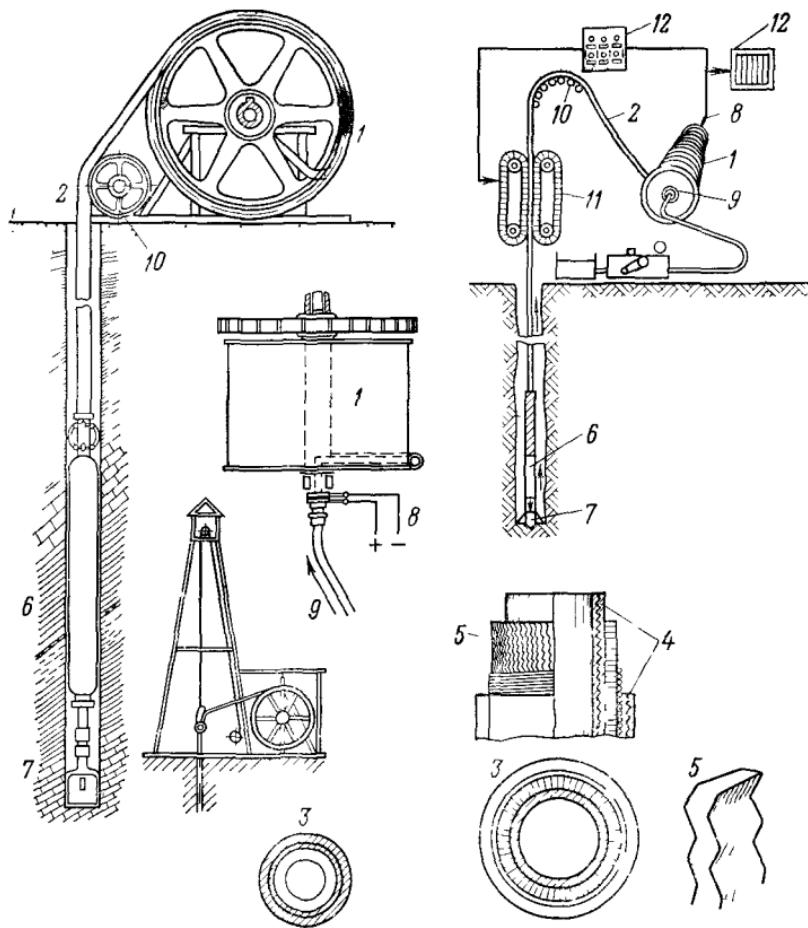


Рис. 17. Проекты шланго-кабельного электробурения. Слева — начало XX в., справа — середина 60-х годов XX в.

1 — барабан, 2 — шланго кабель, 3 — поперечное сечение многослойного шланга, 4 — одна из современных конструкций шланга, 5 — зигзагообразный элемент, 6 — электробур, 7 — дотото, 8 — питание электробура; 9 — подача промывочной жидкости; 10 — направляющее устройство, 11 — гусеничный подъемник, 12 — блоки записи и оптимизации процесса бурения

кроме упоминавшегося сокращения времени на спуско-подъемные операции, устранить тяжелый физический труд, столь характерный для специальности буровика. Он облегчает передачу информации с забоя скважины по кабелю, встроенному в гибкий шланг. Появляется возможность циркуляции промывочной жидкости во время спуска или подъема шланга. Эта полезная операция при обычном бурении невозможна. Шланго-кабельное бурение расширяет возможности, а может, и решает проблему электробурения (забойный

двигатель — электробур) и облегчает автоматизацию бурения. Новый метод, как показала практика, более эффективен в морском бурении со специальных судов, буровая установка получается на редкость компактной.

БУРЕНИЕ... ЛЬДА

В наше время трудно найти человека, который бы, не связывал свои планы отдыха с рыбалкой, особенно зимней.

Зимой каждый рыболов волей-неволей превращается в буровика, свершающего бесконечные лунки в песках заветного местечка, где «клует», по меньшей мере, не хуже, чем у соседей.

Наблюдая работу рыболова-буровика, не устаешь удивляться его изобретательности. Каких только конструкций буравов здесь не встретишь! Самодельные, фабричные, улучшенные и усовершенствованные, фирменные и заграничные... Но мало кто представляет себе, что бурение льда — одна из специальных отраслей научных исследований, от результатов которых зависят наши знания о вечной мерзлоте, о ледниках в высоких горах, о ледниках Гренландии, Антарктиды, а в будущем — о ледяных поверхностях ядер комет и спутников планет — гигантов Солнечной системы.

Наибольший объем буровых работ сейчас выполняется в Антарктиде — самом загадочном континенте Земли. Когда-то на его равнинах и склонах гор, скрытых теперь панцирным слоем льда толщиной до четырех километров, росли гигантские папоротники и могучие тропические деревья. Сквозь дебри этих растений пробирались ящеры и многие другие древние животные. Угольные толщи, обнаруженные в долине ледника Бирдмора, до сих пор хранят окаменелые остатки животного и растительного мира когда-то цветущего континента.

Сейчас большая часть поверхности континента занята ледяным покровом. Ледники не растопишь, а если даже человечество когда-нибудь станет способным решить такую сложную техническую задачу, вряд ли оно рискнет добровольно на всемирный потоп. Единственным средством проникнуть в толщу льда, пробить ледяной панцирь остается бурение скважин.

Практика бурения льда после почти 20-летних интенсивных исследований Антарктиды дала науке немало оригинальных технических решений, в том числе термобурение. Только за последние 12 лет глубина скважин во льдах возросла от нескольких десят-

ков метров до километра и более. И все же до основания льда, лежащего на горных породах центральной части материка, до сих пор никому добраться не удалось. Здесь приходят на помощь лишь косвенные геофизические методы исследования ледяных толщ.

Электротермическое бурение спроектировано сотрудниками Ленинградского арктического и антарктического института. Оно основано на тепловом воздействии бурового наконечника на массив льда в скважине с одновременным получением столбика пробы льда. Электротермобуровой снаряд может бурить скважины диаметром до 110 мм со скоростью 6 м/ч. Электробуровое устройство для плавления льда показано на рис. 18.

Устройство включает буровой наконечник конусного сечения. Внутри конуса укреплены и выведены наружу кольца из меди, обладающей высокой теплопроводностью. Между кольцами расположен нагревательный элемент. Он питается электроэнергией по проводам. При работе термобур находится в скважине, заполненной специальной жидкостью, не замерзающей при температуре окружающего льда.

Разновидность конструкции, так называемая термоигла, при бурении неглубоких скважин показала еще более высокие скорости бурения, а точнее, плавления. Оборудование приспособлено для вер-

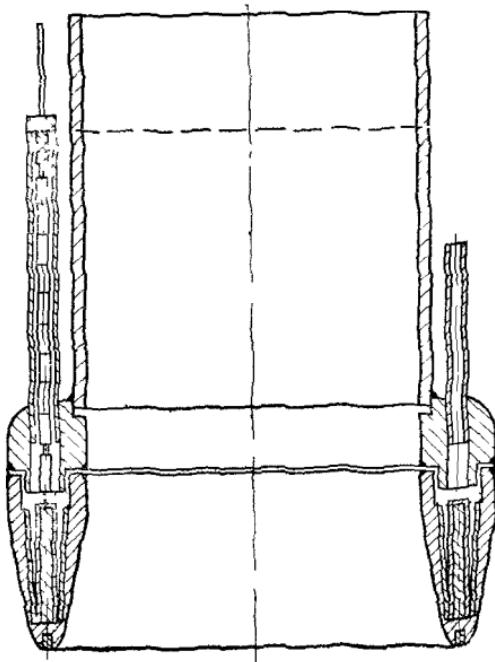


Рис. 18. Электробуровое устройство для плавления льда

тогодней транспортировки. По самым последним сведениям о бурении льда описанным способом, на станции «Восток» наибольшая глубина скважины составила 950 м.

Получены бесценные научные результаты. Важны они не только потому, что взяты в малоизученном районе. Ледяной купол Антарктиды — хранилище сведений об условиях развития природы за многие тысячелетия. Ученые располагают материалами о многолетних колебаниях температуры льда и его физических свойствах. Так, изменение концентрации изотопов водорода и кислорода во льду указало на аномальное похолодание в Антарктиде, случившееся 75—100 тыс. лет назад.

Микробиологи благодаря бурению обзавелись новой и неожиданной информацией. Пробы льда, стерильно запаянные в колбы, в специально созданной микробиологической буровой лаборатории показали возможность сохранения охлажденных микроорганизмов на глубине в несколько сотен метров на протяжении последних 8 тыс. лет. И все это получено не где-нибудь в привычных для нас условиях, а на полюсе холода! Кто знает, может быть, где-то на Марсе или других планетах замороженные, но не погибшие микроорганизмы, хранящие в состоянии анабиоза сенсационную информацию о золотом веке Марса, терпеливо ждут своих исследователей. Снова ученым понадобится бурение...

В районе шельфового ледника Росса, что в 800 км от Южного полюса, американские ученые пробурили 400-метровую скважину. В нее были опущены телевизионная камера и специальное устройство для извлечения проб воды. На экране телевизора и в ловушке обнаружились живые существа и водоросли, погребенные в воде более 120 тыс. лет назад.

Бурение арктического льда гораздо более сложное дело, чем это представляется человеку, ранее с таким делом не сталкивавшемуся. Обычные горные породы бурить легче: там крепление ствола скважины требуется лишь в исключительных или особых случаях. Здесь же буровичка ожидают самая неприятная сюрпризы. Например, на станции Новолазаревская при бурении одной из скважин пришлось встретиться с 200-метровым слоем тяжелой морской воды, переохлажденной до минус 2,01 °С. Как только скважина вскрыла такую толщу, вода устремилась в ледяной ствол, заполнила его и замерзла, уничтожив все плоды предыдущей работы.

По этой и по ряду других причин термобурение не всегда справляется с разрушением льда, и здесь приходят на выручку другие методы бурения, например с продувкой ствола скважины охлажденным воздухом. Правда, конструкция буровой установки становится более громоздкой, но и здесь инженеры находят прием-

лемый выход из трудного положения. Недавно бурение льда проводилось обычной буровой техникой с борта одного из научно-исследовательских кораблей.

Корабль стал не только буровой установкой, но и благоустроенным жильем для буровиков и мощным источником энергии для двигателей бурового агрегата. Условия работы резко изменились в лучшую сторону, так как автономная буровая во льдах требует строжайшей экономии энергии и топлива.

Популярность буровой техники в научных исследованиях не оставила равнодушным к ней даже такого знаменитого французского исследователя-подводника, как Жак-Ив Кусто. Его не удивишь современными новинками исследовательской техники, тем не менее в запланированной экспедиции на Северный полюс он собирается пробурить многометровую толщу льда и опуститься в глубины Северного Ледовитого океана.

БУРЕНИЕ, СПУТНИКИ ЗЕМЛИ И КОМПЬЮТЕРЫ

Спутники Земли применительно к бурению уже работают и довольно успешно. Главная их задача состоит в том, чтобы собрать и передать в информационно-вычислительный центр огромную массу информации о процессе бурения на отдаленной буровой установке, например в открытом океане.

На такой буровой невыгодно ставить мощную электронно-вычислительную машину (ЭВМ): она дорога, занимает много места, требует большого штата обслуживающего персонала. Да и место для работы в условиях океанского шторма для ЭВМ не совсем подходящее. Нет также уверенности, что столь дорогое вычислительное устройство окажется загруженным работой полностью в течение суток. Если будет иначе, стоимость ЭВМ просто не окупится при эксплуатации.

Тут-то и приходят на выручку искусственные спутники Земли, принимающие и передающие по радио информацию в любое место земного шара, где расположено счетно-решающее устройство.

Множество буровых выросло среди океанских волн для бурения морского дна. Морская буровая установка — сложное и очень дорогое сооружение. Поэтому чрезвычайно важно построить кратчайший цикл бурения скважины на самых выгодных режимах с максимальным учетом прошлого опыта. Этот опыт был заложен в па-

мять ЭВМ и непрерывно сравнивался вычислительной машиной с показаниями действующей буровой установки. На любое отклонение машина немедленно реагировала практическими советами и рекомендациями, помогающими сократить сроки строительства скважины.

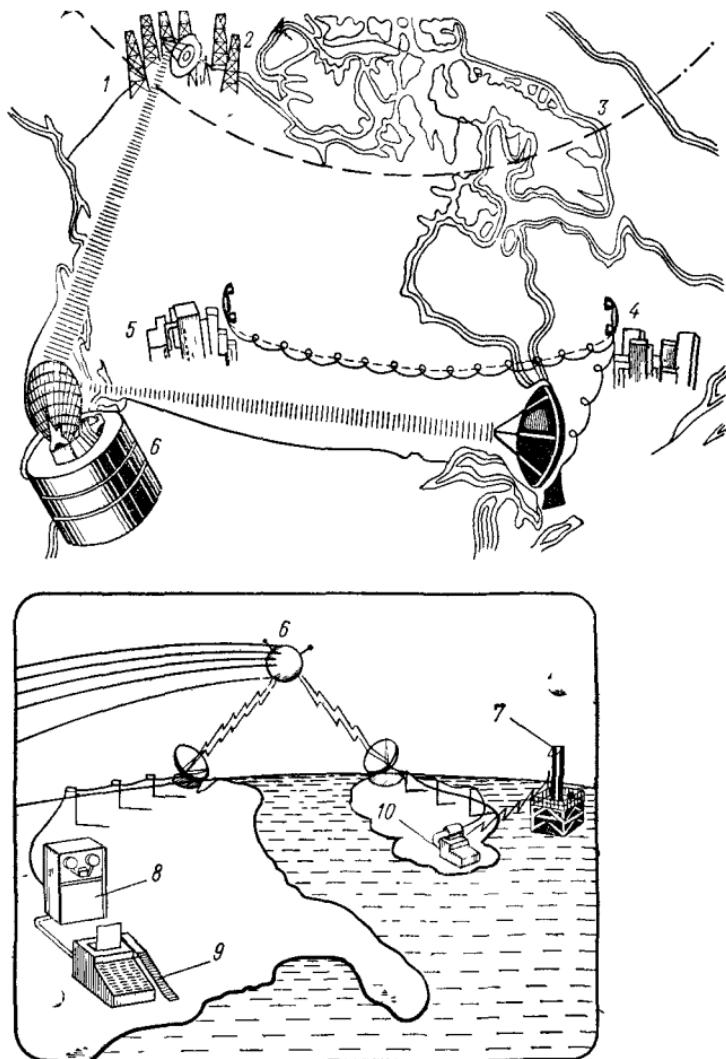


Рис. 19. Передача информации о процессе бурения через спутник связи в Канаде и через радиомост Северное море — Англия — США:

1 — полуостров Аляска; 2 — остров Ричарда, 3 — полярный круг; 4 — Торонто; 5 — специальные службы в Гальгари, 6 — спутник; 7 — буровая в Северном море; 8 — ЭВМ в Кливленде (США); 9 — исследовательский центр в Тулсе, 10 — пункт передачи информации в Грейт Ярмуте (Англия)

На рис. 19 показана передача информации о процессе бурения через спутник связи в Канаде и через радиомост Северное море — Англия — США.

Сигналы о процессе бурения с буровой установки в море транслировались по радио в Грейт Ярмут. Радиоканал был необходим для того, чтобы освободить морскую буровую от сложной передающей станции, работающей на спутник. Далее вступал в работу радиомост, охватывающий спутниковую систему и северо-американские исследовательский и вычислительный центры в Тулсе и Кливленде. Опытные и высококвалифицированные эксперты исследовательского центра обрабатывали поступающую информацию. Результаты вычислений возвращались на буровую прежним путем.

Централизованная обработка информации под контролем квалифицированной экспертизы — это главное, ради чего пошли на дополнительные расходы по использованию спутниковой связи. Несмотря на эти затраты, стоимость бурения скважины снизилась на четверть. Экономия средств будет расти по мере накопления банка информации, содержащего математическое описание ранее пробуренных скважин, т. е. по мере расширения предыдущего опыта.

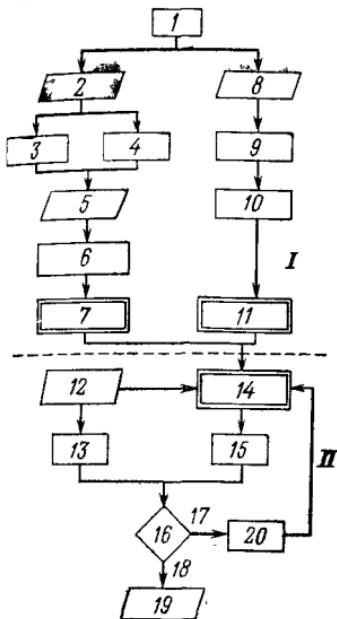
Машина путем решения, вычислений, перебора данных отыскала минимум функции, например минимум стоимости бурения в данных условиях. Была решена весьма важная производственная задача. А как решаются задачи на минимум и максимум — высшая математика подсказывает четко и надежно.

С аналогичными целями Канадская нефтяная ассоциация при помощи спутника системы «Анник» наладила оперативную связь с отдаленными буровыми на острове Ричарда, вблизи полуострова Аляска (см. рис. 19). Наземная станция принимала радиосигналы со спутника и передавала их по телефону в канадский город Торонто, а дальше — к специальным службам в г. Гальгари. Обратная связь шла тем же путем. Общая протяженность трассы превышала 22 000 миль. В целом эксперимент оказался успешным и способствовал успешному освоению северных нефтяных месторождений Канады.

При современном уровне техники трудно представить себе верные решения при бурении без вычислительных машин. Не случайно старые методы проходки скважин классифицируются сейчас как бурение «вслепую», а само бурение называют скорее искусством, чем наукой.

Уже при проектировании буровых установок, особенно для морского бурения — наиболее сложных и дорогих сооружений, сравнимых по стоимости с крупными морскими судами, — успешно используются ЭВМ.

6



6

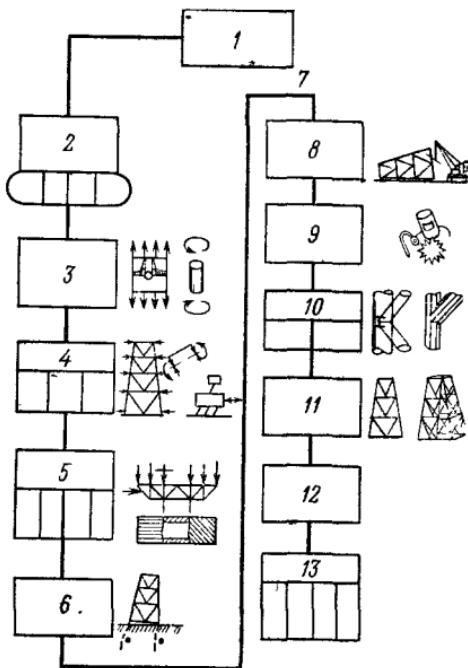


Рис. 20. ЭВМ в бурении:

a — составление программ бурения при оптимальных условиях; *I* — последовательность буровых исследований, *II* — техника составления программы; 1 — изучение свойств промывочной жидкости, 2 — данные лабораторных исследований бурения, 3, 4 — влияние промывки и ее параметров, 5 — взаимосвязь по пунктам 3 и 4, 6 — реакция работы долот на нагрузку и скорость вращения, 7 — кривые скорости проходки, 8 — промысловые данные о бурении; 9 — память ЭВМ и поиск информации; 10 — статистика отработки долот; 11 — кривые срока службы долот, 12 — данные по соседней скважине, 13 — анализы каротажных диаграмм; 14 — математическая модель; 15 — перфокарты ЭВМ, 16 — оценка правильности выбора долота; 17 — нет; 18 — да, 19 — рекомендации для выработки программы бурения; 20 — новый выбор долота, 6 — машинное проектирование конструкций для морского бурения; *I* — анализ данных, 2 — напряжения, действующие на материалы, (статическая и динамическая нагрузка, усталостный износ, температурные воздействия), 3 — анализ напряжений, 4 — анализ конструкции (статический, динамический и вибрационный); 5 — нагружение конструкции и распределение усилий (при бурении, эксплуатации анализ ветра и морских условий, спуск платформы на воду), 6 — взаимодействие основания и фундамента, стеллажа для труб, площади бурения и бурового оборудования; 7 — проектирование; 8 — монтажная техника и экономика, 9 — влияние электросварки на прочностные свойства; 10 — конструкции трубных элементов и других ферм; 11 — вычислительная программа для анализа конструкций; 12 — оценка фактора безопасности; 13 — конструкция оснований (конфигурация и геометрия, нагрузки и напряжения, размер, экономические факторы); *b* — схема воздействия бурением с помощью ЭВМ в кустовом центре: 1 — аналитический центр; 2 — ЭВМ с распределением времени; 3 — программы воздействия бурению; 4 — запросы; 5 — рекомендации; 6 — конечное печатное устройство.

На рис. 20, б показаны этапы проектирования конструкции по узлам и в целом. Основное преимущество расчетов на ЭВМ состоит в возможности проверки различных вариантов конструкции и нагрузок. Влияние новинок науки и техники на выбранную конструкцию, если они вводятся по программе ЭВМ, ускоряет технический прогресс, делает конструкцию конкурентоспособной и построенной на уровне мировых стандартов.

В процессе бурения дорогостоящие ЭВМ не будут выгодны, если устанавливать их на каждой буровой. Поэтому для отдельного участка или месторождения, на которых сосредоточено множество буровых, создается единый вычислительный центр. Он соединен телефонной, высокочастотной или кабельной линией связи с отдельными буровыми установками (рис. 20, в). Совершенствование технологии бурения ведется путем автоматического опроса измерительных датчиков. После этого разрабатываются программы сопровождения бурению и выдаются рекомендации на конечное печатное устройство. Буровой мастер использует полученную документацию в руководстве процессом бурения.

Для удаленных буровых, особенно сверхглубоких, на которых строительство скважины ведется годами, целесообразен монтаж ЭВМ прямо на месте. Здесь возможны различные варианты: использование мини-ЭВМ для решения отдельных частных задач бурения или установка мощной вычислительной машины, способной взять на себя весь цикл строительства скважины.

В первом случае осуществляется частичная оптимизация бурения, во втором — полная. Примером частичного решения вопроса может служить американская система «Дрилсерв» (рис. 21). Принцип ее работы основан на наблюдении за безразмерным выражением энергии бурения — произведения удельной нагрузки на долото и частоты вращения ротора. Программа бурения устанавливает оптимальное значение энергии для различных горных пород в скважине при учете характеристик долот, оборудования и стоимости текущих затрат.

Независимая от субъективного желания бурильщика команда подается на устройство, регулирующее положение рукоятки тормоза лебедки. Растворение лебедки связано с изменением нагрузки на долото. Машина знает, что при увеличении частоты вращения долота и нагрузок сверх оптимальных стоимость бурения и расходы по обслуживанию буровой установки увеличиваются.

Рекомендуемая программа бурения вводится в ЭВМ с пульта бурильщика обычным цифровым набором — весьма удобный способ, позволяющий обходиться без отдельного специалиста-программиста.

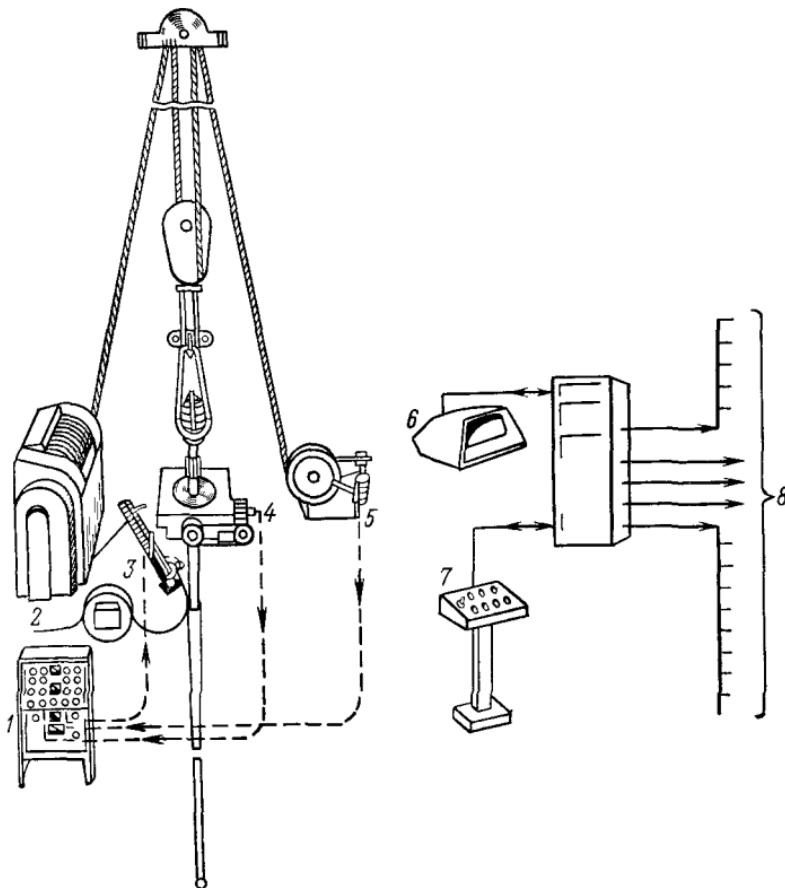


Рис. 21. Система оптимизации программы бурения «Дрилсерв» (слева) и блок-схема управления автоматизированной системы рассстановки свечей:

1 — ЭВМ, 2 — узел пневморегулятора, 3 — устройство управления ленточным тормозом, 4 — тахогенератор роторного стола, 5 — датчик веса на неподвижном конце каната талевой системы, 6 — электронно лучевой экран и клавиатура, 7 — пульт управления, 8 — управляющие команды

Рассмотренная система управления оказывает влияние на процесс бурения только по двум параметрам, реализуя принцип минимизации стоимости бурения.

Конечно, этого недостаточно. Существуют вычислительные машины для контроля значительно большего числа параметров, в том числе перемещения, частоты вращения долота, скорости бурения, врачающего момента ротора и других (до 24 непрерывно контролируемых параметров). Все показания машины строятся на анализе математической модели процесса бурения, учитывающей скорость проходки, износ опор и вооружения долота, стоимость работ. Ма-

шина реагирует также на ненсправности и аварийные ситуации в скважине, в частности автоматически управляет противовыбросовым устройством и регулирует плотность промывочной жидкости. При необходимости в любой момент допускается переход на ручное управление.

Разработаны машины для управления отдельными, наиболее ответственными операциями. Например, при морском бурении с палубы океанского судна, качающегося на волнах, большие трудности вызывает ручная укладка бурильных труб при извлечении их из скважины. Для сохранения устойчивости судна в США спроектирована специальная ЭВМ, в задачу которой входит равномерная и точная расстановка свечей, т. е. отрезков колонны, составленных из нескольких труб (см. рис. 21). Машина управляет целым комплексом автоматических механизмов. Механизмы избавляют бригаду от работ на большой высоте и повышают их производительность.

Дальнейшее совершенствование ЭВМ идет по пути создания самонастраивающихся систем. Под способностью к самонастраиванию понимается автоматическое выполнение буровых операций, при которых поддержание оптимальных значений основных параметров режима бурения и коррекция заданной программы происходит без участия оператора-бурильщика.

Применение новейшей электронной вычислительной техники предполагает обязательное сочетание с высокой культурой производства и организации работ. Бесполезно подбирать оптимальные значения параметров режима бурения, если буровой станок простаивает из-за отсутствия оборудования или инструментов, если наладка электронной техники отнимает времени больше, чем само бурение, и т. д.

КОСМОС И БУРЕНИЕ

Роль буровой техники в космических успехах человечества сейчас всем известна. Можно вспомнить, начиная с 1969 г., работу наших лунных автоматических межпланетных станций (АМС) «Луна-16, 20, 24» и ручное бурение на Луне американскими космонавтами. Инженеры по бурению заслуженно гордятся тем, что их специальность стала одной из первых в перечне космических.

Гораздо меньше известно, что значительно раньше бурение оказалось возле проблем космоса. Об этом стоит рассказать подробнее.

30 июня 1908 г. жители ряда сибирских районов, прилегающих к р. Подкаменная Тунгуска, были свидетелями космического фено-

мена, сопровождавшегося большими разрушениями и необычными явлениями. С тех пор тайна Тунгусского метеорита (кометы?) не перестает тревожить умы ученых и фантастов. Одним из первых, кто отважился направиться в таежные леса на поиски метеорита был метеоролог Л. А. Кулик. Более всего поразило исследователя отсутствие каких-либо следов самого метеорита, несмотря на грандиозность масштабов катастрофы на месте падения. Казалось, от крупного космического тела, влетевшего в атмосферу Земли, хоть что-то должно было остататься. Справедливость такого заключения подтверждал многочисленный опыт находок на Земле других метеоритов, значительно меньших по размерам.

И тогда в одной из экспедиций 1929 г. Л. А. Кулик решил использовать в целях глубинных поисков бурение. Двумя комплексами оборудования для ручного бурения было пройдено три скважины глубиной до 34 м. В результате работ Л. А. Кулик убедился, что воронки на местности к падению метеорита отношения не имели... Опыты оказались неудачными. Но эти скважины — первые попытки бурения в научно-исследовательских целях по космосу. Они пробурены в Сибири.

На острове Саарема в Эстонской ССР известны загадочные кратеры метеоритного происхождения. Изучением кратеров занимался инженер И. А. Рейнвальд. Методика его исследований интересна тем, что он первый применил бурение для поисков метеоритов. Скважину он заложил в 1929 г. и сразу же обнаружил следы удара метеорита. Позднее при раскопках нашлись его осколки.

Буровые работы использовались для изучения Аризонского метеоритного кратера (США). Интересно, что буровая компания в целях привлечения средств для организации работ пустила слух о необычно высоком содержании платины и иридия в найденных осколках метеорита. Скважины были пробурены на глубину 200 м, где и обнаружили основную метеоритную массу. Гипотеза о платиновом метеорите не подтвердилась, и акционерная компания прекратила свое существование.

По опубликованным сведениям, при бурении скважины на нефть в 1930 г. в мягких породах североамериканского штата Техас на глубине 1525 футов в эоценовых отложениях был обнаружен вскапаемый железный метеорит — редчайшая находка, поскольку почти все имеющиеся в мировых коллекциях метеориты найдены на поверхности Земли.

По сложности технических вопросов и по трудности решаемых исследовательских задач бурение скважин, особенно глубоких, и освоение космического пространства с помощью бурения находятся рядом. Насколько осложнено строительство сверхглубоких скважин,

видно, например, из следующего сравнения: бурение мелких скважин для поверхности космического тела — задача более простая, чем строительство скважин глубиной 15—25 км у нас на Земле. Не случайно скважины на Луне удалось пробурить раньше, чем человечество достигло десятикилометрового рубежа глубин в коре родной планеты.

Как удалось добиться столь невероятного успеха в исследованиях Луны?

Космическая техника с момента запуска первого спутника Земли развивалась столь быстрыми темпами, что даже самые крупные специалисты и научные авторитеты ошибались в своих прогнозах относительно конкретных ее достижений.

В книге В. Губарева «Человек, Земля, Вселенная», изданной 1969 г., приводилось интервью с известным геологом и географом акад. А. Л. Яншиным. Ему задали вопрос: «Неужели геологи собираются завезти на Луну, Марс и Венеру буровую установку?». Маститый учёный ответил: «Пока нет, до транспортировки на Луну и планеты буровых установок довольно далеко...». Это было сказано в то время, когда инженеры уже интенсивно и детально разрабатывали проекты буровых установок, а до запуска автоматической станции «Луна-16», взявшей и доставившей на Землю пробу лунного грунта с глубины 35 см, оставалось менее двух лет!

С тех пор на Луне было пробурено еще несколько скважин как с участием человека, так и в полностью автоматическом режиме. Буровые устройства достигли высокого совершенства. Достаточно вспомнить недавний блестящий эксперимент советской автоматической межпланетной станции «Луна-24». Человеку удалось заглянуть в недра нашего спутника до глубины трех метров.

Какой же глубины достигнет следующая скважина на Луне, в недра какой другой планеты и когда заглянет человек?

ПРОГНОЗЫ И ПРОЕКТЫ. Несмотря на неоспоримые успехи наблюдательной астрономии последних лет (открытие колец Урана и Юпитера, спутника Плутона, новой планеты между орбитами Нептуна и Урана и др.), главные достижения в исследовании Солнечной системы уже давно связаны с космонавтикой. На страницах зарубежной периодической печати широко обсуждаются детали и сроки полетов на отдельные космические тела для отбора проб грунта и в поисковых целях.

Возможно, только с помощью бурения на космических телах, в первую очередь автоматического без участия человека, будет дан ответ на вопрос о закономерностях эволюции планет, при которых зарождение жизни является либо продуктом невероятно-локальной случайности, либо результатом причин, о которых мы еще ничего не

знаем. Еще более заманчивым представляется ответ на самую запутанную загадку природы: когда и при каких условиях органическое вещество Земли, а может, и других космических тел впервые переходит таинственную границу между неживой и живой материей?

В теоретической астрономии существует методика расчета минимальных размеров космических тел, при которых еще возможен кратковременный или постоянный разогрев недр. В частности, тела размером до 100 км никогда самостоятельно не разогреваются до положительных температур. Иными словами, недра большинства астероидов, спутников Марса и других тел холодны.

Не исключено, что граница живого—неживого тесным образом связана с внутренним разогревом планет и с вулканической деятельностью. Изменение температуры к ядру космического тела обычно оценивается геотермическим градиентом. Надежная инструментальная оценка градиента пока возможна только в скважине.

В космических поисках тайны возникновения жизни будет заложена структура наших представлений не только о происхождении, но и судьбе нашей цивилизации. Во всех эпизодах поиска понадобится бурение — основной технологический прием отбора пробы внеземного вещества с подповерхностных слоев астероида, кометы и других тел. Когда это случится?

По прогнозам ученых, научная база на Меркурии будет создана в ближайшие десятилетия. К этому же времени ожидается высадка на одном из спутников Юпитера. Рассматривается посадка автоматической межпланетной станции на астероид Церера. Решаются технические задачи по доставке проб горных пород массой до нескольких килограммов с астероидов Эрос, Икар и ядра кометы Энке. Обсуждаются полеты космических кораблей с целью доставки образцов грунта на Землю с поверхностей Марса, Фобоса и Деймоса. В настоящее время считается, что спутники Марса — наиболее доступные объекты Солнечной системы, и доставка проб грунта с них вполне по плечу современной технике.

Хуже, если можно так выразиться, обстоит дело с Венерой. Правда, в принципе на этой планете можно использовать те же устройства, что и на Луне. Поверхность ее твердая, она способна нести тяжелую буровую установку, но слишком высокая температура: понадобятся дополнительные охлаждающие устройства, прочная капсула, автономное запрограммированное управление. Рассматриваются проекты использования в атмосфере планеты плавающих установок типа аэростатов, с которых на ее поверхность можно опустить миниатюрный буровой станок с управлением по кабелю или по радио. Как бы там ни было, бурение на Венере — дело отдаленного будущего.

Конечно, пробы внеземного вещества с поверхности планет, их спутников и астероидов можно взять при помощи очень простых устройств, типа грейферных механизмов, грунточерпалок, пылесосов, липких лент, выбрасываемых наружу с космического аппарата и затем втягиваемых обратно, и с помощью других устройств (рис. 22).

Так, космический аппарат системы «Викинг», предназначенный для получения цветных стереоскопических телевизионных изображений и обнаружения жизни на поверхности Марса, имел приспособления типа грунточерпалки для взятия проб марсианского грунта. Грунтозаборное устройство совкового типа находилось на конце трубчатой штанги длиной 3 м. Штанга состояла из двух изогнутых желобообразных полос нержавеющей стали, соединенных вместе по кромкам. По мере вытягивания гибких полос из корпуса желоба составляли трубу достаточной жесткости. Образец грунта после поворота головки вокруг своей продольной оси выссыпался из сов-

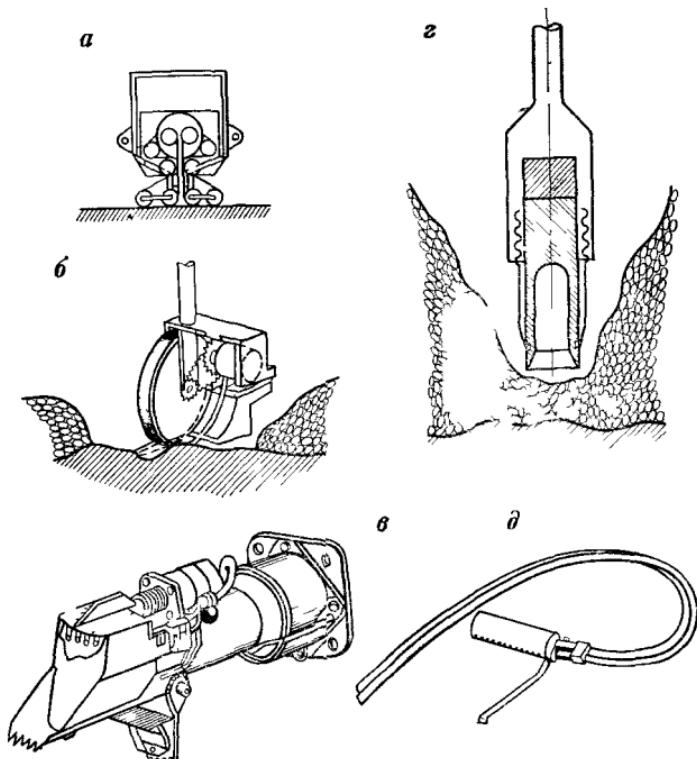


Рис. 22 Способы отбора проб с поверхности космических тел:

а — абразивная лента б — абразивный круг, в — грунтозаборное устройство автоматической марсианской станции «Викинг 1», г — реактивный пулевой грунтосос, д — всасывающий насос

ка через решетку на подвижный ковш. Ковш доставлял пробу к приборам посадочного отсека для микробиологического и другого анализа. Сходную, но более простую конструкцию имели грунто-заборники космических аппаратов для Луны типа «Сервейор».

Все эти устройства отбирают пробы с поверхности или с очень небольшого погружения только в рыхлую основу грунта.

С глубины получить пробы таким образом нельзя. Единственный способ тут, как и на Земле, — бурение скважин.

К этому остается добавить, что в обозримом будущем основной целью бурения даже на Луне — ближайшем к нам небесном теле — будет не разведка полезных ископаемых, а получение новых научных результатов, как и при проводке опорных скважин на Земле.

Усложнение задач. По мере освоения космических тел задачи, стоящие перед внеземным бурением, будут неизбежно усложняться. Понадобится бурение скважин для изучения распространения мерзлоты на поверхности некоторых планет и спутников, для поиска воды, например, на Марсе, для сейсмических, биологических и других исследований.

Без бурения скважин не обойдется строители будущих лунных баз, в том числе без скважин для взрывных работ. За рубежом существует, например, проект строительства лунной базы с помощью скважины глубиной в несколько десятков метров, на забое которой будет взорван заряд большой мощности. При этом образуется сферическая полость, вполне пригодная для оборудования рабочего помещения, надежно защищенного толщей лунного грунта от больших перепадов температур и космического излучения.

Как видим, сам процесс изучения космического пространства и космических тел стал все больше приобретать характер инженерной деятельности, на первый план которой выступили отборы проб горных пород на этих тела.

Учеными было разработано немало способов отбора внеземного вещества как в открытом космосе, так и в атмосфере нашей планеты.

Так, еще в 50-х годах с помощью геофизических ракет изучалось и отбиралось метеорное вещество в открытом космосе. В США в 1961 г. для сбора микрометеоритов на высотах 116—168 км была использована специальная ракета, носовая часть которой оборудовалась камерой, содержащей тонкие, толщиной в несколько микрометров, собирательные пластины-пленки, сделанные из различных материалов. После опыта на стопке пленок под электронным микроскопом были обнаружены микрометеориты.

С 1966 г. началась эра горных и буровых работ, выполняемых на поверхности других планет. После прилунения автоматических

станций типа «Луна-13» и «Сервейор» на поверхности нашего космического соседа были проведены простейшие горные работы. Затем появились многочисленные проекты и конструкции буровых установок и устройств по извлечению и отбору горных проб, среди которых первенствующее положение занимают надежные буровые станции «Луна-1C», «Луна-20», «Луна-24».

Ранние проекты буровых устройств для Луны были опубликованы в США в конце 50-х — начале 60-х годов. В первую очередь среди них следует отметить простейшие приспособления типа пенетрометра, предназначенного для погружения в грунт Луны (рис. 23), проекты «Гринчиз» и «Сервейор» (рис. 24). Погружение конусного индентора в поверхностные рыхлые слои реголита (так называли грунт Луны) дало бы ученым богатую информацию о прочности грунта, его способности к осыпанию и уплотнению и многое другое. Поэтому не следует упрощенно считать, что первые проекты приживления в поверхность Луны на несколько сантиметров примитивны и не заслуживают внимания. Миниатюрная лунная станция «Гринчиз» имела винтообразный конвейерный буровой механизм щекового типа для сбора пыли на поверхности планеты или рыхлой горной породы до глубины 300 мм.

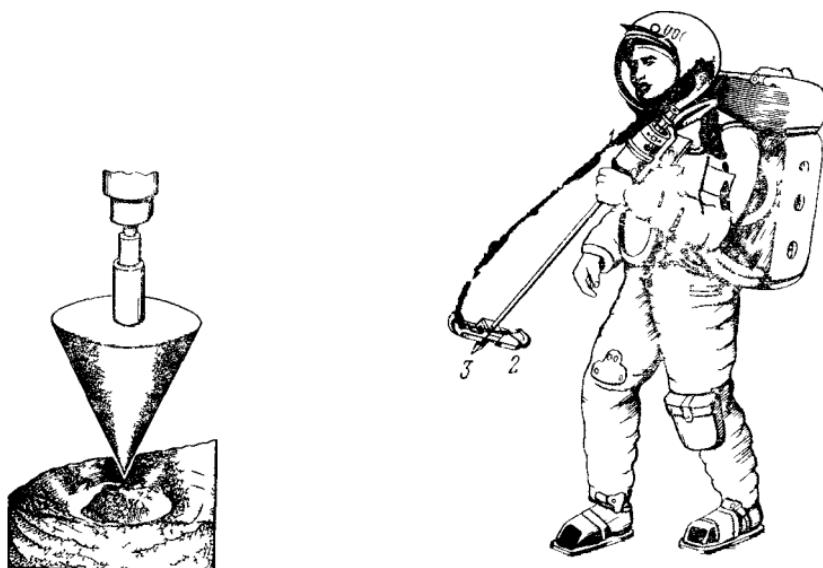


Рис. 23 Одна из самых первых опубликованных конструкций для погружения в грунт Луны и Венеры — конический пенетрометр (слева). В одной из последних экспедиций «Аполлон» использовался наиболее совершенный самопищущий пенетрометр:

1 — узел записи; 2 — опора, 3 — конус

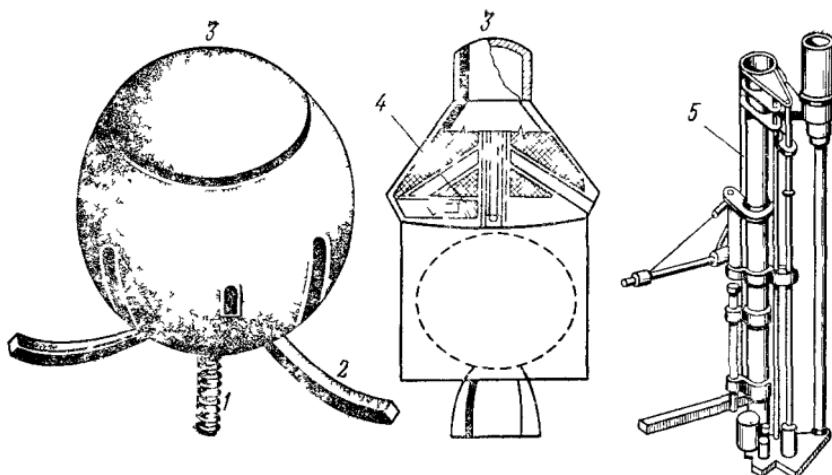


Рис. 24. Аппарат системы «Гринчиз» и «Сервейор».

1 — винтовой конвейер для отбора образцов мягких горных пород Луны 2 — опоры выравнивающие аппарат относительно лунной вертикали 3 — возвращаемая на Землю капсула с реактивным двигателем, 4 — загерметизированные образцы породы

Возвращаемый аппарат с ракетным двигателем имел контейнер для пробы грунта, загерметизированный внутри конического корпуса. Основная часть аппарата вместе с буровым устройством оставалась на Луне. Реализация проекта «Гринчиз» не удалась, так же как и космическое бурение аппаратом «Сервейор», хотя во многих отношениях конструкции этих аппаратов были весьма удачными.

Первые скважины на Луне были пробурены астронавтами экспедиции «Аполлон-11» в 1969 г. Пробы горных пород в этой экспедиции и других отбирались ручными инструментами, которые по мере обогащения астронавтов опытом работы в необычных условиях постоянно совершенствовались. Интересно проследить, какие изменения вносились в конструкцию инструментов в разных экспедициях по программе «Аполлон».

Экспедиции «Аполлон-11, 12 и 14». Инструменты и буровые устройства для Луны показаны на рис. 25. Первые образцы горных пород — керны диаметром около 20 мм — были получены из-под поверхности Луны с помощью ручных алюминиевых трубчатых грунтоносов, которые забивались геологическим молотком в лунный грунт-реголит. На одном из концов трубы крепилось кольцо-наконечник с режущей кромкой, которая после сбора образцов заменялась обычным колпачком. Внутри трубы устанавливался поршень, облегчающий удаление из трубы образца горной породы. Поршень проталкивался металлическим прутом. Верхний конец трубы соединялся

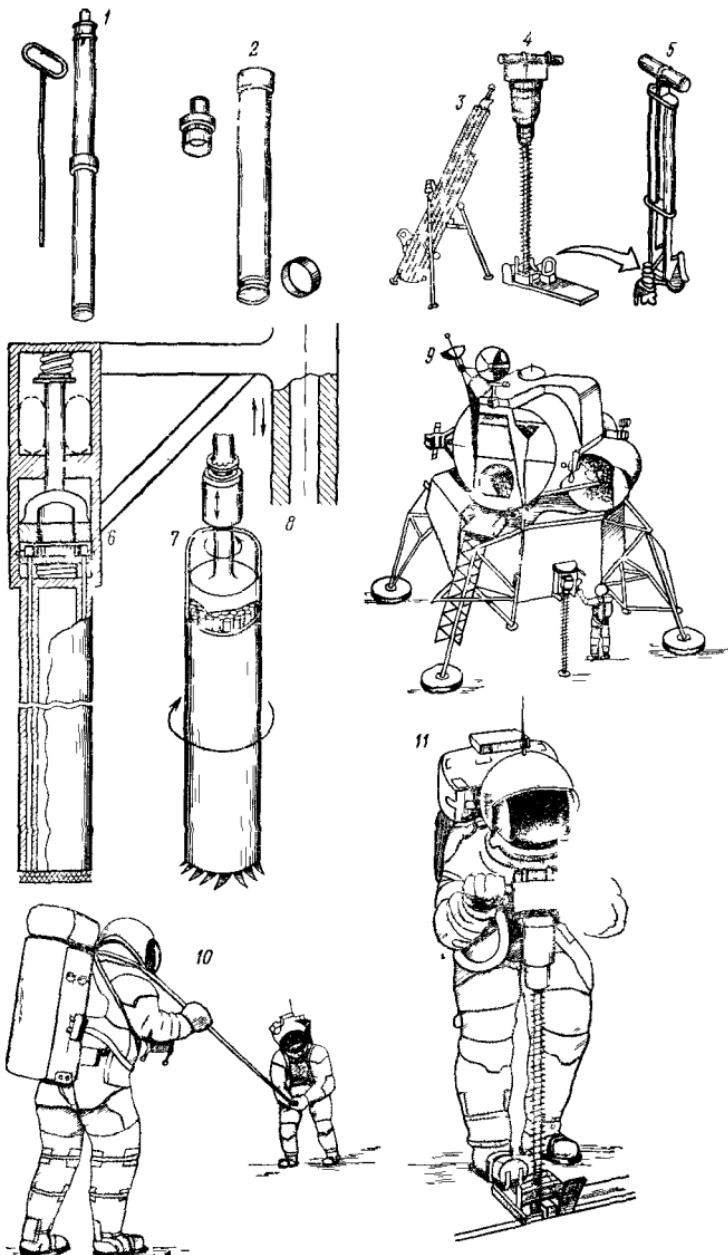


Рис 25 Инструменты и буровые устройства для Луны

1 — двухсекционный грунтонос и шток, 2 — одна из сеций грунтоноса (соединительная муфта и поршень), 3 — подставка для шпековых бурильных труб, 4 — ручной электробур, 5 — рычажное приспособление для извлечения труб из скважины, 6 — проект ударно вращательного устройства с кольцевым забоем, 7 — тот же вариант со сплошным забоем, 8 — стойка космического корабля, 9 — космический корабль, 10 — извлечение космонавтами труб из скважины, 11 — бурение электробуром

нялся с универсальной удлинительной рукояткой, снабженной наковалней из нержавеющей стали, по которой астронавт наносил удары молотком.

При экспериментах были отобраны две пробы грунта с глубины до 15 см. На большую глубину грунтоносы не погружались, несмотря на сильные удары молотка. По свидетельству астронавтов, это объяснялось не столько увеличением прочности реголита с глубиной, сколько неудачной конструкцией рабочей головки грунтоносов, спроектированной еще в 1965 г. Конструкция способствовала уплотнению грунта внутри грунтоноса и при конусообразном внутреннем сечении происходила деформация столбика горной породы, нарушающая естественную последовательность залегания слоев. Для устранения этого недостатка в экспедиции «Аполлон-12» применялся грунтонос улучшенной формы; конус был сделан с наружной стороны. Однако, по свидетельству конструкторов, грунтоносы и в этом случае были несовершены. Из отведенных 3 ч пребывания на Луне астронавты потратили на отбор проб от 35 до 40 мин.

Все же улучшенная конструкция грунтоносов позволила с меньшими затратами усилий разведать грунт и отобрать две пробы на глубине 35 см и одну — на глубине 70 см. Вдавливание и вытаскивание грунтоноса стало возможным простым нажимом руки. Правда, грунтоносы позволяли отбирать главным образом сыпучие горные породы. О характере таких пород в их естественном залегании можно судить по стереоскопической фотографии, сделанной космонавтами «Аполлон-14» (рис. 26). Фотографию следует рассматривать в стереоскоп или при определении навыке без него. Для этого страницу книги следует держать на расстоянии приблизительно 30 см от глаз. Усилием воли надо попытаться совместить оба изображения в одно. Когда это случится, центральное изображение из трех видимых глазами снимков будет объемным (на левое и правое изображение не обращайте внимания). Стереоскопически лунный грунт выглядит таким, каким его видел космонавт через объективы своего фотоаппарата с характерным для грунта природным блеском, с рельефными возвышениями минеральных зерен. Такой блеск на обычных плоских фотографиях никогда не получается.

ПОСЛЕДУЮЩИЕ ЭКСПЕДИЦИИ «АПОЛЛОН-15, 16 и 17». Для количественной оценки несущей способности лунного грунта по всей глубине погружения в естественных условиях был сконструирован самопищий пенетрометр, успешно использованный на Луне. Пенетрометр был изготовлен из позолоченной нержавеющей стали, имел опорную плиту, обеспечивающую устойчивость прибора и космонавта. Диаметр погруженной части пенетрометра и рабочих его

головок по сравнению с забивными грунтоносами был существенно уменьшен, что позволило увеличить максимальную глубину внедрения до 75 см. Космонавты применяли также обычные грунтоносы увеличенного диаметра и с более тонкой стенкой трубы. Полученные пробы реголита не имели искажений природной плотности. Начиная с экспедиции «Аполлон-15», снаряжение космонавтов включало ручной электробур.

Способ бурения. На советских и американских ручных или автоматических буровых установках, работавших при бурении мелких скважин на поверхности Луны, успешно испытан шнеко-колонковый способ очистки скважины от выбуренной горной породы в комбинации с обычным колонковым бурением. Классический шнековый способ бурения, известный из земного опыта, не применялся, он обладает рядом существенных недостатков. Комбинированное шнеко-колонковое бурение выполнялось обычными твердосплавными коронками, традиционными колонковыми трубами и кернорвателями, а забой очищался вращающимся шнековым транспортером, находящимся на внешней поверхности колонковой трубы и бурильных труб.

В принципиальном отношении такой способ бурения далеко не нов — он давно применялся при бурении инженерных скважин в

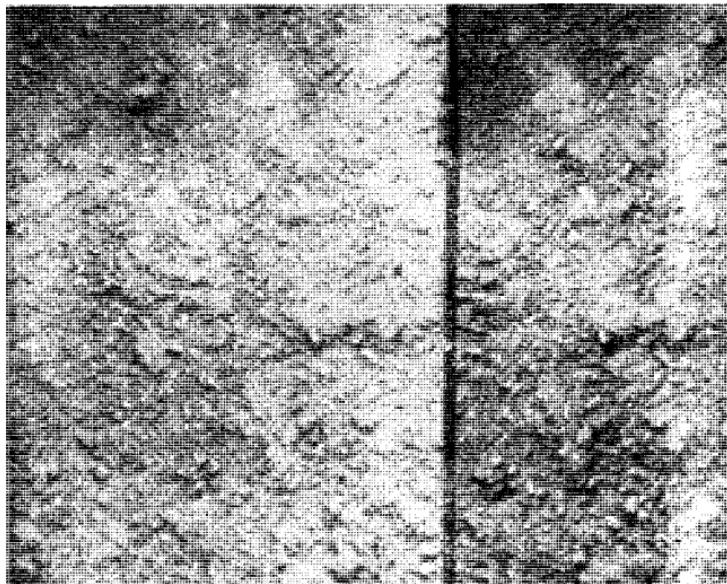


Рис. 26. Стереоскопическая фотография лунного грунта (экспедиция «Аполлон-14»)

процессе геологических изысканий. Еще в 50-х годах существовали легкие и портативные шнековые буровые станки, управляемые одним человеком. Для примера достаточно привести известную конструкцию механического пробоотборника типа МП-1, разработанного еще в начале 60-х годов для бурения скважин глубиной до 3 м. Внешне ручной электробур, использованный американскими космонавтами на Луне, почти полностью совпадает с этим пробоотборником и отличается от него в основном более совершенными весовыми и прочностными характеристиками и типом двигателя. При замене бензинового двигателя на портативный электрический станок МП-1 и его поздние модификации вполне могли бы стать основой для конструирования станков, предназначенных для условий Луны.

Недостатки шнекового бурения (ограниченная область применения — вязкие и сыпучие породы; низкое значение к. п. д. шнековой очистки, определяющееся высоким трением о стенки скважины; большой расход энергии, особенно при увеличении глубины скважины, и др.) частично компенсируются комбинированным способом бурения, а также работой шнеков в условиях пониженной гравитации. Комбинированный шнеко-колонковый способ расширяет круг применения шнеков вплоть до бурения самых твердых горных пород.

Шестикратное снижение массы частиц шлама на Луне служит благоприятным фактором для бурения, хотя и снижает сцепление частиц с поверхностью спирали, но в целом оно повышает производительность шнеков и их к. п. д., особенно в глубоких скважинах.

Перемещение шлама вверх по спирали шнека возможно, если достаточна величина трения между подвижным шламом и неподвижным его слоем в кольцевом зазоре за счет центробежной силы и подпора разрыхленной на забое породы. Центробежная сила необходимой величины возникает при определенном критическом значении оборотов шнека, меньше которого транспортировка шлама вверх затрудняется. Но при уменьшении силы тяжести, что имеет место на планетах, меньших по размерам, чем Земля, значение критического числа оборотов ниже.

К. п. д. шнека можно увеличить за счет уменьшения трения шнека о стенки скважины (облицовка торца спирали стеклопластиком или шлифованная поверхность) и снижения площади контакта спирали со стенкой скважины (тонкостенная спираль), что и было достигнуто на лунных буровых.

Шнековый способ очистки забоев скважины очень прост и удобен, поскольку вращением бурильных труб обеспечивается совмещение бурения с выносом горной породы. Однако по мере увеличения глубины скважины производительность шнека снижается, а

ударные усилия, передаваемые с поверхности, теряют эффективность.

В дальнейшем, конечно, будут предложены новые способы вневземного бурения, более эффективные. Здесь у конструкторов «космических» буровых станков широчайшее поле деятельности..

Работа буровой установки «Луна-16». Советским исследованиям на поверхности Луны при помощи буровых установок автоматических станций «Луна-16», «Луна-20» и «Луна-24» предшествовали тщательные испытания этих установок на Земле в условиях, максимально приближенных к лунным.

Уже в предполетный период исследований Луны было ясно, что физические характеристики лунного реголита значительно отличаются от свойств хорошо знакомых нам земных грунтов. И это вполне объяснимо: верхний покров нашего спутника сформировался и существует в условиях, совершенно не похожих на земные. Здесь идеальный вакуум, полное отсутствие воды, высокая пористость реголита и необычайная его способность к уплотнению, адгезии и накоплению электростатического заряда.

Высокая способность частиц лунного грунта к прилипанию способствует резкому возрастанию сил трения. При испытаниях буровых устройств в вакууме расход мощности на бурение закономерно увеличивался.

Для снижения трения рабочие поверхности бура как в наших, так и в американских установках покрывались износостойкой смазывающей пленкой, нейтральной по отношению к минеральному и химическому составу частиц реголита.

Интересно, что по возвращении АМС «Луна-16» и «Луна-20» вместе с образцами грунта были возвращены и буровые снаряды. Их паружная поверхность тщательно изучалась в лаборатории. Как и ожидалось, несмотря на кратковременную работу снаряда, в очагах контакта металла с частицами реголита образуются многочисленные микроскопические следы адгезионного изнашивания в виде язв, трещин, разрывов и отдельных осповидных дефектов. Ученые получили экспериментальное подтверждение о благоприятных условиях изнашивания металла при взаимодействии механизмов с лунным грунтом. Рабочие элементы буровых устройств, предназначенных для длительной работы на Луне и других планетах со сходными условиями, должны противостоять адгезионному изнашиванию. Это создало новые требования к свойствам материалов и характеристикам станков.

Приходилось также учитывать ночной и дневной перепад температур на Луне, составляющий 300°С; добиваться точности движения элементов грунтозаборного устройства до малых долей милли-

лиметра, особенно на стадии герметизации колонки грунта в капсулу; принимать во внимание свариваемость металлических поверхностей в глубоком вакууме и многое другое.

Необычность и разнообразие условий, в которых должны были работать автоматические станции, заставили конструкторов изготавливать несколько вариантов буровых устройств. Они испытывались при бурении различных горных пород-аналогов: песчаников, туфов, базальтов. Буровая установка подвергалась вибрациям, перегрузкам, проверялась в вакууме на уникальных стендах.

Выполненные испытания исключили любую возможность аварий с буровой установкой. Регулировка автоматического прибора, после того как он начал работать на поверхности Луны, затруднена или вовсе исключена. Но, как известно, в процессе автоматического бурения скважин никаких непредвиденных осложнений не произошло.

Конструкция бурового устройства автоматических станций «Луна-16» и «Луна-20» (рис. 27) уже описывалась в печати.

Краткая техническая характеристика буровой установки

Диаметр буровой коронки, мм	26
Расчетная глубина бурения, см	35
Подача инструмента	Дифференциально-винтовая (предусмотрена возможность ударного режима работы)
Коронка	Твердосплавная
Удаление шлама	Шнековым способом

Бурение скважины началось час спустя после посадки аппарата и выполнялось при весьма низких температурах лунной ночи (-120°C). Станок прижимался к поверхности Луны приводом грунтозаборного устройства и собственной массой до суммарного усилия 100 Н. Винтовая подача инструмента имела предохранительную муфту, отрегулированную на осевое усилие 70—80 Н.

В процессе бурения измерялась величина тока двигателя, крутящий момент (20—30 Н·см), глубина бурения, температура корпуса бурового станка и электродвигателя (20—26 $^{\circ}\text{C}$). Величина тока в цепи электромотора на холостом ходу и при бурении изменялась в небольших пределах 3,9—4,4 А. Скорость бурения, по телеметрическим данным, несколько превысила расчетную и составила в среднем 6,1 см/мин. На глубине 35 см коронка бурового устройства коснулась твердой породы или отдельных ее фрагментов. В образцах реголита вблизи коронки наблюдались крупные, размером до нескольких миллиметров, кристаллы горных пород.

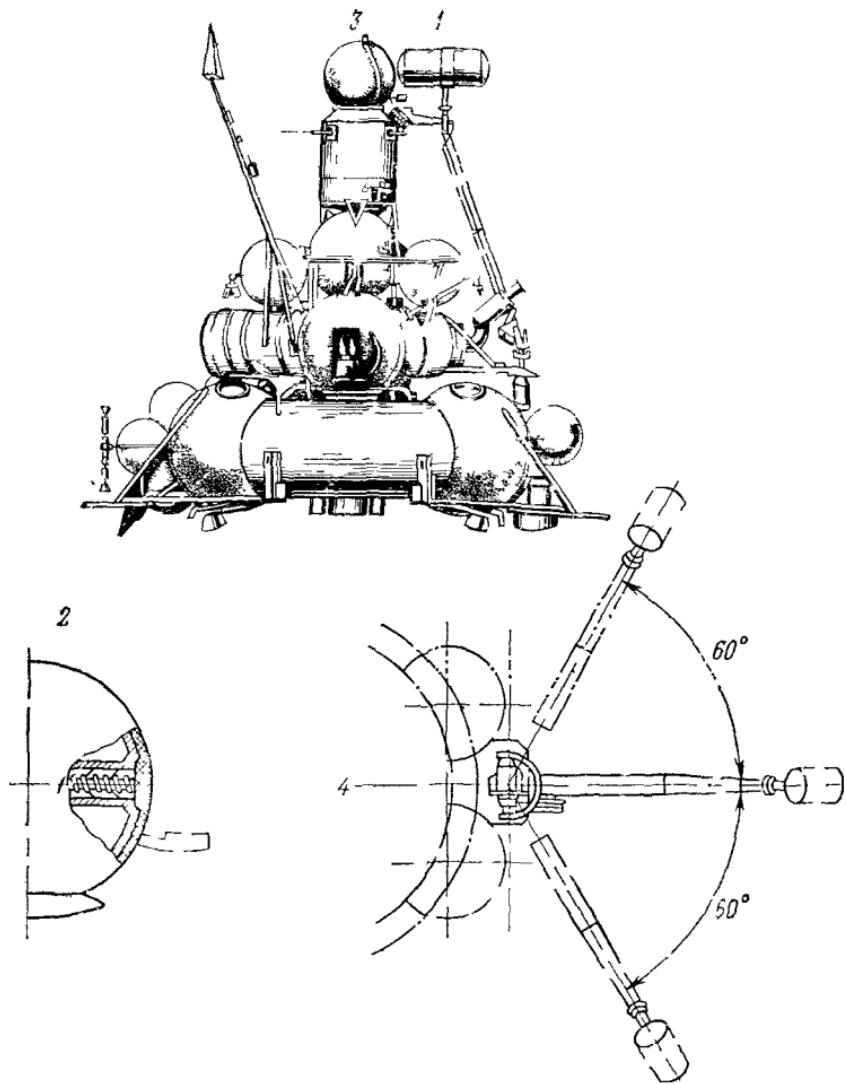


Рис. 27. Автоматические межпланетные станции «Луна-16» и «Луна-20»:
 1 — буровые устройства; 2 — схема герметизации грунта с бурильной трубой;
 3 — возвращаемая аппаратура, 4 — возможные перемещения штанги с буровым
 устройством в горизонтальной плоскости

После окончания бурения включился обратный ход станка, ударное устройство при этом автоматически прекратило свою работу. Доставленный образец лунного грунта сохранил естественное расположение слоев горной породы.

РЕЗУЛЬТАТЫ БУРЕНИЯ СТАНЦИЕЙ «ЛУНА-20». В отличие от станции «Луна-16» бурение выполнялось днем при температуре

корпуса станка +18 °С. Опускание штанги манипулятора продолжалось 7 мин. В процессе бурения трижды срабатывала токозащита. В первый раз это случилось после проходки 90 мм породы, во второй — на глубине 150 мм. Скважина была пробурена до глубины 340 мм, после чего произошло автоматическое отключение двигателей.

Процесс бурения продолжался 16 мин; время чистого бурения без учета остановок составило 4 мин 35 с при средней скорости бурения 75 мм/мин. Обратный ход бурового снаряда занял 8,8 с. При бурении регистрировались те же параметры, что и при работе станции «Луна-16». Дополнительную информацию об абразивных свойствах горных пород дал износ буровой коронки и наружной поверхности колонковой трубы.

На всех этапах бурения скважины наблюдалось увеличение силы тока двигателя 4—8,8 А до тех пор, пока не срабатывала токозащита. Скорость бурения была неравномерной и колебалась от 46, до 240 мм/мин, что значительно превышало паспортные данные — 60 мм/мин. В этом состояло основное отличие процесса бурения по сравнению со станцией «Луна-16», что, по всей вероятности, объясняется большей неравномерностью прилипания горных пород к металлической поверхности колонковой трубы и уплотнением в зазорах и каналах шнека.

Возможна и другая причина возрастания тока в двигателях буровой установки. Известно, что коэффициент внутреннего трения грунта в значительной степени зависит от вибрации и ее частоты. Как правило, он снижается при наложении колебаний ударного устройства, но снова растет после прекращения вибраций. Для некоторых грунтов коэффициент трения возрастает почти вдвое по отношению к исходному значению.

Не исключено также, что конструкция шнекового устройства бурового снаряда не обеспечивала надлежащую очистку скважины от разрушенного при бурении грунта. Такая очистка наблюдается в случае, если шнек выносит из скважины лишь часть разрушенной горной породы, а другая часть уплотняется вокруг шнека и в стенки скважины. Уплотненный грунт создавал дополнительное сопротивление вращению и продвижению снаряда.

Конструкторы станка отличали любые отклонения процесса бурения от нормального по оценке величины удельных энергозатрат приводных электродвигателей (в джоулях на один кубический сантиметр разрушенного грунта). Так, при измененной величине удельных энергозатрат и паспортной скорости подачи снаряда делали заключение о нормальном ходе процесса бурения. Если энергозатраты росли, то, возможно, началось уплотнение разрушенного грунта

и прекращение его поступления в полость снаряда. Скачкообразные изменения энергии в ту или другую сторону свидетельствовали об увеличении твердости породы, завинчивании снаряда в нарезку уплотненного грунта и т. д.

После завершения бурения и загрузки возвращаемого аппарата образцом лунного грунта станок снова был включен по команде с Земли для проверки влияния температуры и вакуума на поверхности Луны на работу всех буровых элементов. Как оказалось, все механизмы работали без каких-либо отклонений от нормы. Благодаря этой операции, конструкторы станка окончательно убедились в своем предположении, что неравномерность процесса бурения была вызвана технологическим взаимодействием бурового снаряда со стенками скважины и столбиком грунта в скважине, а не конструктивными недоработками станка для бурения.

После старта возвращаемой ракеты буровой станок остался на поверхности Луны. Возможно, в недалеком будущем он будет возвращен космонавтами на Землю для изучения и займет одно из почетных мест в собрании музея космонавтики.

СТАНЦИЯ «ЛУНА-24». В августе 1976 г. на Луне приступило к работе принципиально отличное от предыдущих советских установок буровое устройство, рассчитанное на бурение скважины глубиной 2,5 м. Аналогичная установка побывала на Луне годом раньше.

Основные узлы автоматической межпланетной станции остались прежними, за исключением буровой установки. Она получила совершенно новое конструктивное оформление, позволившее при старых габаритных размерах межпланетной станции увеличить глубину бурения почти в шесть раз по сравнению с возможностями станций «Луна-16» и «Луна-20».

Новая буровая установка имела следующие отличительные особенности:

диаметр твердосплавной двухступенчатой коронки был уменьшен почти втрое, что позволило сократить энергозатраты на бурение; диаметр столбика керна уменьшился соответственно до 8 мм;

столбик керна длиной более 2 м помещался в 40-сантиметровую капсулу возвращаемого аппарата; керн наматывался в спиральные желоба компактного барабана;

принципиально новой стала конструкция грунтоноса; сохранность керна и природной последовательности залегания слоев лунного грунта обеспечивалась гибкими продольными лентами внутри колонковой трубы и эластичным грунтоносом; одни ленты выстигали внутреннюю поверхность трубы, а другие перекрывали зазоры между ними;

в отличие от буровых установок, прежде побывавших на Луне, перевод бурового устройства в рабочее положение проводился не поворотным устройством, а путем скольжения станка вниз на роликах по двум направляющим;

буровой станок имел механизм подачи — систему тросов; ударный механизм с автоматическим переходом на ударный режим бурения в зависимости от буримости горной породы; устройство для автоматического управления бурением с автономной программой, предусматривающей, кроме всего прочего, предупреждение аварийного режима.

Точность изготовления деталей узлов была на уровне требований приборостроения. Широкое применение нашли титановые и алюминиевые сплавы, высококачественные стали, пластики и резины, созданные впервые с учетом специфичности условий их работы.

Схема бурового устройства станции «Луна-24» показана на рис. 28. Рабочая головка при подаче инструмента скользит вдоль двух направляющих вместе с вращающейся бурильной трубой, на поверхности которой имеется шнек.

Бурение скважины проходило со средней скоростью 15 см/мин. Несколько раз автоматика включала ударный механизм.

В процессе всего бурения в центр управления шел непрерывный анализ телеметрической информации. На пульте следили за каждым мгновением работы буровой головки. То и дело операторы сообщали сведения о начале сеанса забора грунта, о выдаче на борт станции необходимых команд, о рабочем режиме и переходе на автоматическое управление, о прочности грунта и глубине скважины.

Буровому механизму заранее была задана автономная программа операций. Все данные телеметрии на Земле записывались

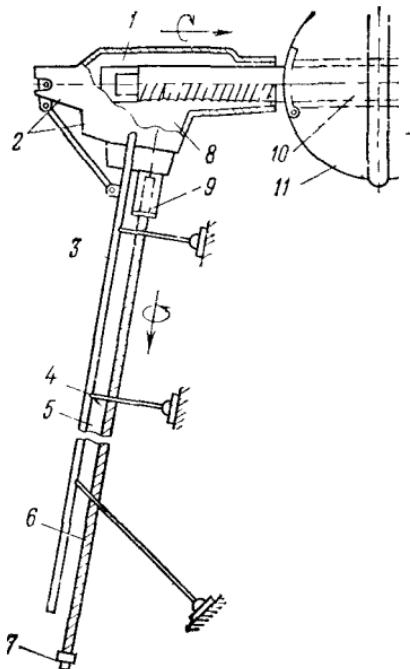


Рис. 28. Схема бурового устройства станции «Луна-24»:

1 — барабан со спиральным желобом, 2 — корпус и приводы; 3 — направляющие, 4, 6 — стойки, 5 — бурильная шнековая труба; 7 — коронка, 8 — гибкая тяга; 9 — вращатель, 10 — контейнер; 11 — возвращаемый аппарат

регистрирующими приборами. Фиксировались расход энергии, температура корпуса и другие параметры.

За 10 мин было пройдено почти 1,5 м. Как только увеличилась твердость горной породы, станок тут же реагировал на изменение условий и переходил на ударно-вращательный режим.

Бурение проводилось под углом 30° к местной вертикали, т. е. скважина была наклонной. Таким образом, если общее погружение коронки составило 225 см, то вертикальная глубина зондирования поверхности Луны не превысила 2 м. Стоит также добавить, что длина керна была только 160 см и линейный выход керна определился цифрой 71 %. После того как бурение закончилось, был включен обратный ход механизма. Приемный барабан фиксировался напротив приемного окна возвращаемого аппарата. Был включен подающий механизм, керн в эластичном грунтоносе стал укладываться в спиральные желоба горизонтально вращающегося барабана, а сам барабан одновременно перемещался вперед к окну на величину шага намотки за каждый оборот. Разъединительный замок отсоединил привод от барабана, пружина загрузила барабан в контейнер возвращаемого аппарата, а пиропатроны отстрелили трос механизма подачи и верхнюю головку в точках ее крепления к ферме. Затем буровое устройство откинулось в сторону и осталось на посадочном блоке.

Успешный полет АМС «Луна-24» получил благоприятный отзыв на страницах мировой печати. Можно было бы привести множество интересных и восторженных откликов. Один из них, сделанных газетой «Берлинер цайтунг», хочется показать читателям (рис. 29).

ГРУНТОНОС «ЛУНЫ-24». Благодаря изяществу инженерной мысли, буровая установка «Луны-24» заслуженно считается не только качественно новым этапом разработки автоматических устройств для исследования природных космических тел, но и служит прообразом автомата, способного идти применение в геологических исследованиях родной планеты.

С инженерной точки зрения наибольший интерес вызывает конструкция грунтоноса и устройств, с ним связанных. В практике создания буровых устройств для наших, земных условий подобную конструкцию встречать не приходилось даже в своде изобретений за многие и многие годы. Может быть, поэтому созданная учеными конструкция сейчас кажется чуть ли не единственным возможным решением задачи. Она заслуживает подробного изложения.

В бурении всегда остро стояла и стоит проблема извлечения в достаточном количестве из скважины керна — образцов горной породы. В разведочном бурении существует даже понятие качества бурения, одним из критерев которого служит линейный выход

керна. Если этот выход становится проблемой в обычных земных условиях, когда процесс бурения находится под непрерывным контролем оператора, то можно себе представить трудность получения керна при работе автомата за десятки тысяч километров от Земли на другой планете.

Конструкторы знали, что взять керн на поверхности Луны можно будет только одним единственным рейсом бурового устройства и никакие перебурки, то есть повторные эксперименты, невозможны. Отсюда надежность грунтоноса должна была стать абсолютной, стопроцентной. Прямо скажем, такую задачу геологи не решаются ставить буровикам даже в земных условиях.

Все трудности были успешно преодолены. Посмотрите на рис. 30. Конструкторы применили так называемую двойную колонковую трубу, что само по себе не является чем либо новым. Но внутри трубы была установлена плавающая пробка, жестко связанная с восьмью гибкими узкими лентами, выходящими из межтрубного пространства. Концы лент огибали нижний торец внутренней трубы и вытягивались вверх по мере заполнения трубы столбиком керна.



Рис. 29. «Луна-24»: «Я неплохо потрудилась на Луне. Теперь пускай поработают над моим подарком ученые на Земле» («Берлинер цайтунг»)

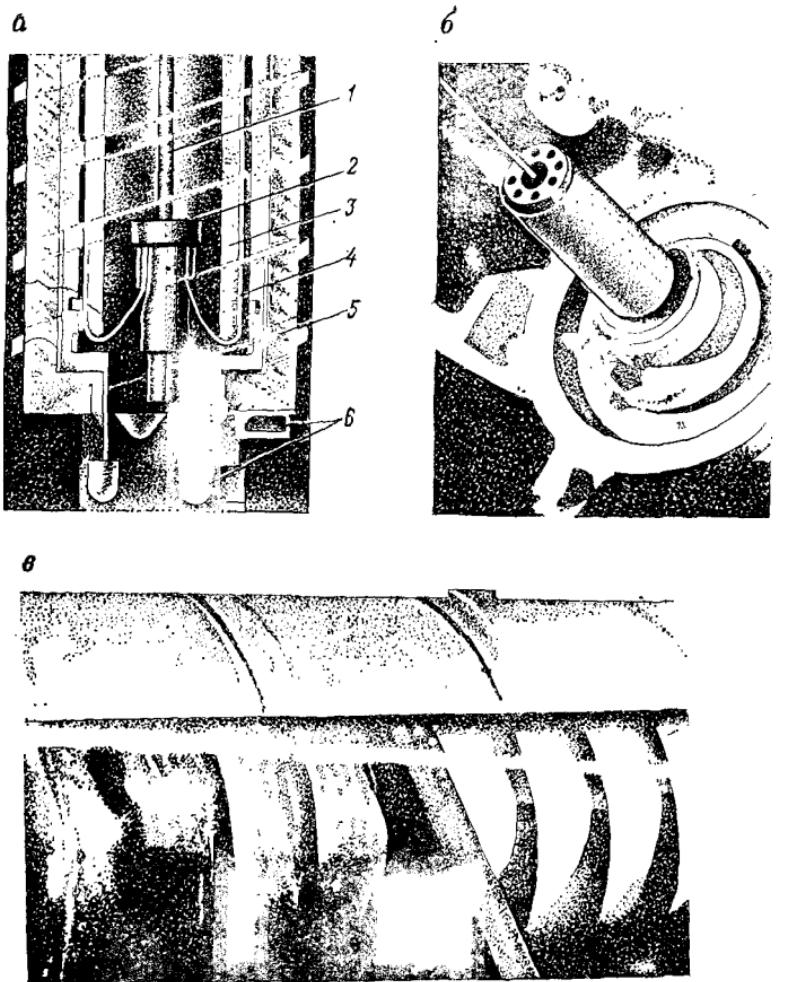


Рис. 30. Грунтонос:
а — узлы: 1 — трос; 2 — плавающая пробка; 3 — внутренняя труба; 4 — эластичная оболочка; 5 — наружная труба; 6 — буровая коронка с твердосплавными резцами; б — момент начала вытягивания тросом грунтоноса из отверстия шпинделя бурового устройства; в — навивка грунтоноса на барабан

Пробка при этом удерживалась на месте тросом, пропущенным сквозь трубу.

В конце бурения специальное устройство зажало концы лент в плотный узел. Он не позволил керну высыпаться из трубы наружу. Но и это еще не все. Внутренняя поверхность трубы была дополнительно снабжена гибким эластичным шлангом. Шланг сохранил керн и взаимное надежное расположение гибких лент.

Приемный контейнер станции «Луна-24» был таким же, как и в предыдущих станциях, хотя глубина бурения значительно возросла. Разместить большее количество в прежнем удалось за счет навивки эластичного грунтоносца. Это позволяло наматывать почти двухметровую пробу лунного грунта на барабан со спиральным желобом, свободно размещавшимся в сфере сравнительно небольшого возвращаемого аппарата прежней конструкции.

Приемный барабан с желобами в процессе бурения оставался на месте против отверстия возвращаемого аппарата и был связан с бурильной трубой гибкой тягой — тросом.

Конец троса крепился, как мы говорили, с плавающей пробкой. При вращении барабана трос наматывался на его желоб и вытягивался вверх вместе с грунтоносом. Вслед за тросом гибкий грунтонос витком укладывался на барабан через щель. Кромки щели ломали керн в целях более правильной укладки грунтоносца.

НОВЫЕ ЗАДАЧИ. Все пробуренные к настоящему времени скважины на Луне не превышают трех метров. По мере освоения Луны и планет появятся дополнительные научно-исследовательские задачи, и среди них — бурение скважин на глубину 10, 100 м и более. Новые условия потребуют иного бурового оборудования, при конструировании которого понадобится решить проблемы охлаждения коронки, выноса шлама с забоя скважины без помощи шнеков, приближения ударного механизма к забою и т. д.

Уже сейчас специалистами по бурению скважин предложено множество погружных устройств механического типа, преобразующих вращательное движение бурильных труб в возвратно-поступательное для ударного элемента механизма. В настоящее время по ряду причин они почти не применяются при бурении скважин. Исключение составляет бурение шарошечными долотами, где принцип разрушения горных пород основан на динамическом воздействии вооружения на забой благодаря периодическим поднятиям и опусканиям корпуса долота, осуществляющего удар.

В практике бурения применяется несколько удачных конструкций одношарошечных долот малого размера для проходки скважин сплошным или кольцевым забоем с отбором керна. Ударное воздействие шарошечных долот зависит не только от их конструкции, но и от твердости горных пород. По мере уменьшения твердости ударная эффективность долот снижается, поэтому шарушки не могут полностью заменить специальных ударных механизмов. Кроме того, шарошечные долота даже малого диаметра при сплошном бурении требуют высоких осевых усилий, что в условиях пониженной гравитации невыполнимо.

Известны также механические устройства как с непрерывным, так и прерывистым вращением буровой коронки, совмещающие надежное вращение последней с одновременным нанесением удара.

Соответствующие конструкторские изыскания интенсивно ведутся как у нас, так и за рубежом. Недавно на одной из выставок научно-технического творчества в Москве демонстрировалось автоматическое буровое устройство ударно-вращательного типа, рассчитанное на бурение скважин диаметром 46 мм и глубиной до 15 м без участия человека.

Все операции по бурению, наращиванию бурильных труб, их соединению в колонну полностью автоматизированы по заранее заданной программе. Наиболее оригинальным в конструкции станка является карусельный механизм для хранения и замены составных элементов бурильной колонны и штанго-разворотное устройство. Все операции выполняются с помощью четырех отдельных двигателей постоянного тока. Станок подобной конструкции применим и в космических условиях.

Необычность условий на небесных телах (глубокий вакуум, пониженная или высокая гравитация), нагрев бурового инструмента, жесткие ограничения массы буровой установки и другие причины заставят конструкторов выйти из рамок обычных представлений, сложившихся на Земле и сковывающих творческое воображение.

Решение новых задач в этой области поможет совершенствовать технологию и повысить производительность бурения скважин на Земле. Так, уже сейчас в конструировании буровых установок земного типа во многих случаях существуют достаточно жесткие ограничения массы. Многие из описанных конструкторских решений применимы и при создании буровых установок, работающих в условиях, когда, например, промывочная жидкость недоступна или дорога — скажем, в пустыне. Можно прямо сказать, что при отсутствии жестких ограничений на массу и размеры буровых устройств необычные и смелые технические решения вряд ли родились бы вообще.

Расскажем об одном из таких решений. В бурении, да и не только в бурении, трубы соединяются между собой преимущественно с помощью резьбовых соединений. Для ускорения спуско-подъемных операций было предложено множество так называемых быстроразъемных соединений, главное отличие которых — отсутствие резьбы. К сожалению, герметичность таких соединений была плохой.

Как объединить эти два противоречивых требования и сделать соединение труб быстроразъемным и герметичным одновременно?

Такое соединение было предложено группой изобретателей под руководством А. А. Петросянца. Оно заслуживает подробного описания — настолько оно нетрадиционно (рис. 31).

Соединительные муфты концов бурильных труб не имеют резьбы. Вместо нее предусмотрены кольцевые канавки и выточки. Ниппель (вверху) снабжен сегментными пазами и сквозными проточками. В кольцевую полость залит легкоплавкий металл. Он не должен смачивать металл муфты и ниппеля.

Когда ниппель вводится в муфту, металл нагревается одним из возможных способов, например высокочастотным нагревом, расплавляется и за счет вытеснения заполняет полость, пазы и проточки. После отключения нагрева и твердения металла муфта и ниппель прочно соединяются между собой. Герметичность соединения получается идеальной. Для разъединения труб снова необходим нагрев. Металл плавится, при выводе ниппеля вытекает из сегментных пазов в кольцевую полость и застывает в первоначальной форме. Потери жидкого металла исключаются благодаря удачной комбинации проточек, полостей и пазов.

Техника и технология космического бурения непрерывно совершенствуются и развиваются. Нет сомнения, что в ближайшем будущем мы станем свидетелями бурения скважин на большую глуби-

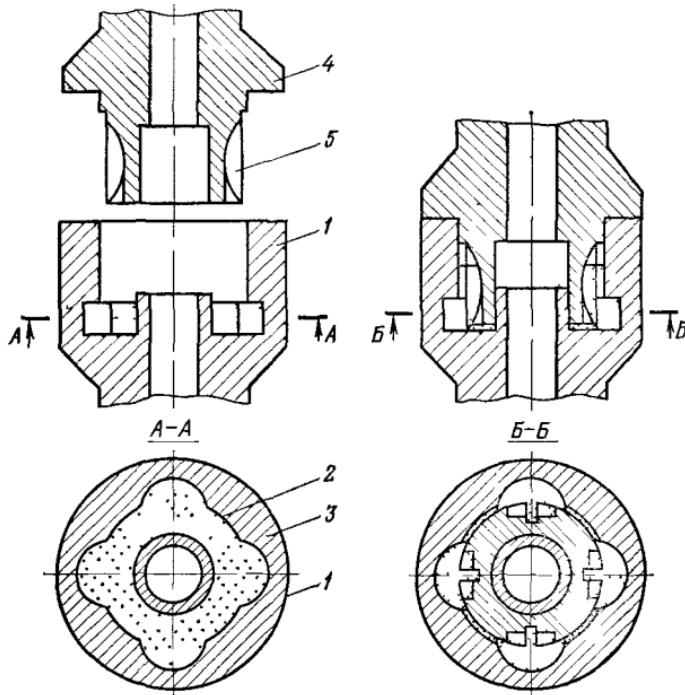


Рис. 31. Безрезьбовое соединение:

1, 4 — муфта и ниппель; 2 — легкоплавкий металл; 3, 5 — кольцевые и продольные выточки

бину как на Луне, так и на других планетах. Впереди — бурение на Марсе! Проекты передвижных луно- и марсоходов с буровыми установками для скважин глубиной до 1 м уже опубликованы, они испытываются на полигонах, а один из них успешно работал на поверхности Луны. Луноход управлялся двумя американскими космонавтами в экспедициях серии «Аполлон-15—17» и представлял в истории космических исследований передвижную буровую установку. Она включала электрический бур и набор инструментов для ручного бурения.

Природа научного поиска такова, что, несмотря на имеющиеся достижения в изучении космоса, каждый космический эксперимент ставит больше вопросов, нежели приносит ответов на поставленные «почему?» Непосредственное изучение поверхности планет при помощи буровых установок уже ответило на многие вопросы ученых, а в будущем даст еще более полную и интересную информацию.

Если читатель заинтересован в более подробных сведениях о космическом бурении, автор отсылает его к своей книге «Бурение скважин вие Земли», опубликованной издательством «Недра» в 1977 г.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ РЕПОРТАЖ ИЗ СКВАЖИНЫ

С телевизионной техникой будущие инженеры-буровики сталкиваются еще в студенческие годы, когда слушают лекции по специальным дисциплинам. Так, при изучении курса механики горных пород им приходится изучать взаимодействие разрушающего инструмента с горной породой.

Вдавливание инструмента в горную породу является одним из важнейших элементов процесса ее разрушения, поэтому для оценки сопротивления породы этому виду деформации необходимо иметь точные данные о ее твердости.

В настоящее время распространены два метода испытаний на твердость: вдавливание штампа и метод испытания на микротвердость при помощи алмазной пирамиды. Второй способ обладает некоторыми методическими преимуществами: размеры образцов горных пород могут быть небольшими, специальная подготовка их к испытанию сводится к минимуму, в результате опыта определяется твердость отдельных структурных составляющих образца.

Алмазная пирамида с квадратным основанием вдавливается механизмом нагружения. Отпечаток, полученный на поверхности

породы, измеряется в поле зрения микроскопа винтовым окулярным микрометром, а твердость определяется как отношение нагрузки к площади отпечатка.

Несмотря на относительную простоту метода, при большом объеме измерений через два-три часа непрерывной работы наступает резкая утомляемость глаз лаборанта. В связи с этим в Тюменском индустриальном институте проведена работа по усовершенствованию существующей измерительной установки. Телевизионная установка (рис. 32) позволяет переносить изображение отпечатка на экран телевизионного устройства, что значительно упрощает процесс измерений. Установка включает прибор ПМТ-3, основание со стойкой, передающую камеру и видеоконтрольное устройство с пультом управления.

Перед экраном телевизора установлена масштабная сетка в виде концентрических кругов с ценой деления 1 мм.

Изображение отпечатка, появившееся на экране, при помощи микрометренных винтов подводится к перекрестию нитей в центре экрана. Замеряются величины обеих диагоналей отпечатка с учетом масштаба увеличения. Несмотря на некоторую нелинейность разверток телевизионной установки, новый прибор с успехом используется для измерений микротвердости горных пород с достаточной для инженерных расчетов точностью. Он позволяет значительно

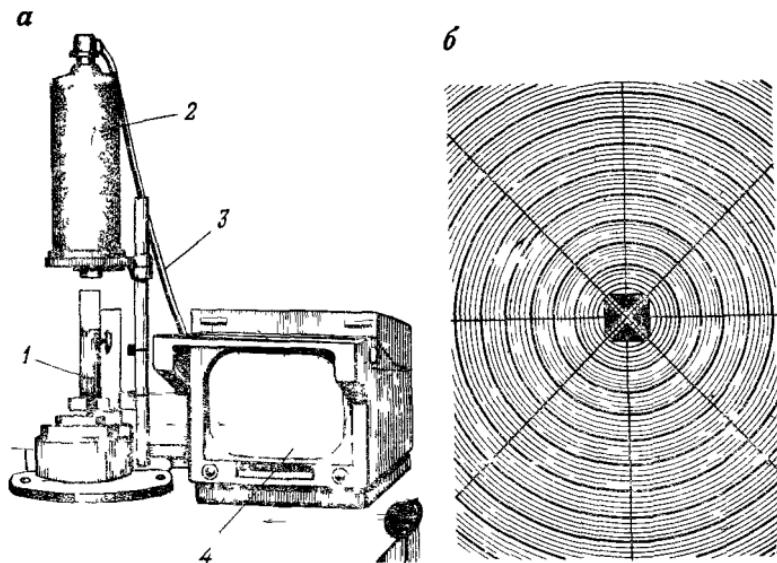


Рис. 32. Общий вид телевизионной установки (а):

1 — прибор ПМТ-3, 2 — передающая телекамера; 3 — кабель; 4 — видеоконтрольное устройство, б — вид отпечатка алмазной пирамиды на экране

уплотнить и ускорить определение микротвердости, минералов и других пород. Студенты работают на приборе с большим интересом и удовольствием.

Бурение — один из немногих технологических процессов, не поддающихся непосредственному наблюдению. Оператор что-то знает, в основном косвенно, по приборам о том, что делается на забое скважины, удаленной от него в сотни метров и даже километров. Поэтому увидеть скважину, ее стенки, забой и получить дополнительную информацию о геологическом строении и трещиноватости горных пород, техническом состоянии ствола скважины, обсадных труб, месте аварии с бурильными трубами всегда было мечтой геологов-разведчиков и буровиков. Первые опыты были связаны с созданием скважинных фотоаппаратов, управляемых на расстоянии по кабелю. Серия снимков, часто случайно привязанных к тому или другому месту съемки, не давала необходимой информации, а многократное фотографирование отнимало много времени.

Съемка фотоаппаратом вслепую, т. е. с разрывом во времени между процессами регистрации и получением информации, делала поиск объекта наблюдения весьма неопределенным. Лишь ничтожная часть снятого материала в какой-то мере оказывалась полезной, а детальное повторение тех же кадров исключалось полностью.

Визуальное изучение ствола скважины в динамике, непрерывно в процессе спуска прибора было возможно только телевизионным способом. Сразу же после зарождения телевидения, даже 30-строчного, появилась мысль о его скважинном применении. Задача упрощалась тем, что передача сигнала была возможна по кабелю низкочастотным сигналом.

В разных странах было создано множество телевизионных устройств специального назначения.

В СССР разработка телевизионных оптико-электронных средств исследования скважин велась с 1952 г. в Ленинградском электротехническом институте связи. Первые полевые испытания относятся к 1956 г. Несколько позже, спустя 2 года, сообщения о скважинных телевизорах появились в ФРГ, США, Чехословакии и Швеции.

Все телевизионные зонды, опускаемые в скважину, достаточно малогабаритны. Они имеют диаметр 60—70 мм и длину 1,5—2 м. Корпус приборов способен выдерживать высокие внешние давления. В некоторых конструкциях любое попадание воды внутрь прибора немедленно фиксируется специальным датчиком и сигнальной лампочкой на пульте управления. Влага в приборе — это не только сигнал о нарушении герметичности корпуса, но и причина запотевания оптики. Качество изображения от этого ухудшается.

Приборы содержат подземную часть, соединительный кабель и надземный пульт управления с видеоконтрольным устройством. Подземная телевизионная камера (рис. 33) содержит цилиндрический корпус со смотровым окном, закрытым специальным стеклом. Внутри корпуса имеется наклонное зеркало, объектив, передающая трубка-видикон, осветитель и электронная часть устройства (развертка, усилитель и т. д.).

Некоторые установки имеют устройство не только для получения изображения стенок скважины, но и для измерения глубины каверн и крупных трещин. Чаще всего оценка глубины каверны делается по изменению фокусировки изображения — операции, обратной той, которая делается каждым фотографом при съемке. Обычно фотограф сначала определяет расстояние, а уже затем устанавливает объектив на резкое изображение.

В скважине с помощью дистанционного управления объектив передвигается вдоль своей оси, чем и достигается изменение фокусировки. Точная фокусировка устанавливается специальным электронным устройством, а не субъективно оператором. Устройство срабатывает при максимуме высокочастотных компонентов видеосигнала и указывает линейное расстояние на пульте управления.

Изображение стенки передается через смотровое окно в объектив на наклонное зеркало. Часто бывает необходим круговой обзор скважины. Тогда зеркало может либо вращаться на все 360° , либо вместо него устанавливается коническое зеркало. К сожалению,

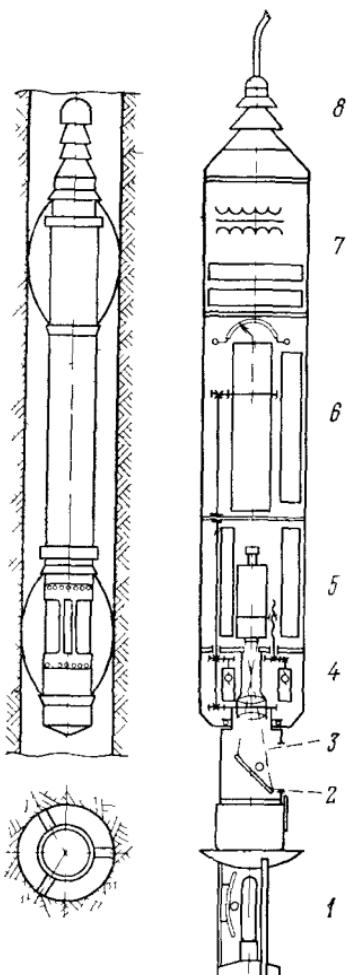


Рис. 33. Подземная телевизионная камера в скважине. Справа — схема кинотелевизионного передатчика:

1 — осветитель; 2 — киноаппарат; 3 — обзорная головка; 4 — моторный отсек; 5 — телекамера; 6 — гироскоп и радиопередатчик; 7 — блок питания; 8 — кабельная головка

коническое зеркало, упрощающее конструкцию прибора, искажает геометрические изображения. Искажения вызваны вынужденной трансформацией цилиндрической поверхности наблюдения в круговую. Существуют способы обратной трансформации. Один из них предусматривает спиральную развертку электронного луча на передающей трубке и линейнострочную — на приемной. Если периоды строки и витка на обеих трубках совпадают, то искажения конического зеркала почти исключаются.

Отдельные конструкции не только показывают изображения стенок, но и могут ориентировать изображение относительно стран света. Очевидно, что такая ориентация весьма полезна для геологической интерпретации полученных сведений. Ориентирование ведется простейшим путем — подачей изображения магнитной стрелки на экран телевизора или подачей электросигнала от гироскопа. Гироскоп монтируется внутри подземного зонда. На экране север отмечается специальной световой меткой.

Телевизионная передача содержит определенную последовательность электрических сигналов, которые легко поддаются автоматической обработке и количественному анализу с помощью ЭВМ. Такие характеристики изображения, как трещиноватость пород, пористость, кавернозность, мощность пропластков и др. Счетная машина может оценивать мгновенно, освобождая оператора от огромного объема ручного труда. В этом преимущество телевизионных средств исследований скважин.

Для передачи телевизионной информации применяются специальные высокочастотные многожильные кабели. Они сложны в изготовлении и недостаточно прочны, поэтому глубины спуска телевизионных приборов пока не превышают нескольких сотен метров.

Надземный пульт управления имеет телевизионный экран, видеомагнитофон для записи изображений и управляющее устройство. Панель управления предусматривает команды типа «обзор», «вращение зеркала», «фокусировка», «фотографирование», «экспозиция» и др.

Недостаточно высокое качество телевизионного изображения вынуждает иногда телевизионное устройство использовать лишь для поиска объекта наблюдения и съемки. Фотография всегда выше изображения на экране по четкости, цветности и детальности. Отсюда — стремление объединить фототелевизионные методы исследования в одном приборе. Это удобно, так как многие детали оказываются общими: объектив, окно, корпус, осветитель, кабель и т. д. Часто вместо фотоаппарата применяют портативные кинокамеры с цветной пленкой.

Замена фотографирования киносъемкой увеличивает скорость осмотра стенок скважин. Детальное исследование переносится в камеральные условия после извлечения прибора из скважины.

Все современные скважинные телевизионные зонды для уменьшения габаритных размеров делаются только на полупроводниках.

Фотографические и фототелевизионные методы исследования ствола скважины дают дополнительную информацию о слагающих породах как в сухих, так и в водозаполненных скважинах. Однако чаще всего в качестве промывочной жидкости используется глинистый раствор, непрозрачный для света от обычных источников, поэтому фотографирование в скважине возможно после продолжительной промывки скважины или после отстоя минеральных частиц. Вместе с ослаблением и рассеиванием светового потока в глинистых растворах наблюдается также потеря контраста изображения. Поэтому контрастность изображения на телевизионном экране всегда меньше контраста наблюдаемого объекта. Все вместе взятое ухудшает качество зрительной информации и заставляет искать другие пути освещения полости скважины, например за счет новых источников света.

Дополнительные возможности открывает применение мощных лазеров, особенно с излучением в инфракрасной области. Автору приходилось заниматься экспериментальным изучением перспектив фотографирования стенок скважины с использованием лазерной установки, включающей полупроводниковый лазер, кюветку из оргстекла с 15-миллиметровым слоем глинистого раствора, электронно-оптический преобразователь (ЭОП) и фотоаппарат.

Выполненные исследования оказали определенное влияние на проектирование скважинных приборов с мощными источниками освещения, использующих тонкий лазерный луч для сканирования изображения стенки скважины, составленного из развертки светового луча по строкам и кадрам.

Существует еще один путь получения телевизионных изображений из скважины, заполненной непрозрачной жидкостью. Речь идет об акустическом способе фотографий стенок скважины. Если на стенку узким пучком послать ультразвуковые высокочастотные импульсы, то их обратное отражение будет зависеть от шероховатости горных пород и их физических свойств. Гладкая поверхность отражает лучше, чем неровная, твердая — лучше, чем мягкая. Поверхность, нормальная к направлению ультразвукового луча, дает максимальное отражение на преобразователь, а наклонная — минимальное и в сторону от него.

Возвращенная к преобразователю энергия формируется в электрический сигнал, по кабелю передается в надземную аппаратуру,

усиливается и модулирует яркость электрического луча на экране электронно-лучевой трубы.

Гладкая поверхность стенок скважины на экране выглядит яркими белыми полосами, а трещины и чередование горных пород — темно-серыми пятнами. В итоге формируется достаточно четкое черно-белое изображение, независимо от среды, через которую проходит акустический луч: в воде, в глинистой суспензии или нефти. Даже рыхлая глинистая корка, покрывающая стенки скважины, не является препятствием для ультразвука.

Четкость телевизионного изображения по сравнению с оптическими приборами невелика. Это объясняется существенной разницей в длине волны звукового и световых источников излучений. Так, для реальных конструкций, испытанных в скважине, четкость в линейных размерах не превышала 0,8 мм, а в угловых — одного градуса. Однако часто такая разрешающая способность в конечном счете оказывается реально выше, чем фотографии, полученные при съемках сквозь суспензию.

В мировой практике имеется множество патентных описаний акустических скважинных телевизоров. Все они могут быть объединены в две группы. Одна из них содержит приборы с точечными источниками ультразвуковых колебаний, сканирующих луч по стенке скважины путем вращения прибора *в скважине с одновременным* его опусканием на тросе. Сочетание вращения акустического преобразователя с равномерным вертикальным перемещением прибора создает непрерывную развертку обследуемой поверхности скважины. Одновременно по кабелю подается информация об ориентировании прибора относительно направления на север. Схемы акустических скважинных телевизоров даны на рис. 34.

В конструкциях другой группы сканирование изображения по двум взаимно перпендикулярным осям проводится с помощью карусельного качающегося устройства, на котором укреплены два ультразвуковых источника (рис. 34,б).

Качающееся коромысло механически соединено с потенциометрическим устройством, формирующим электрические импульсы для усилителя. Основа механизма развертывания раstra — электродвигатели привода рамки вокруг двух осей. По конструкции они одинаковы, но скорость колебательного движения по одной из осей делается в 15—20 раз выше, что позволяет получить на растре 30—40 строк.

Конечно, четкость такого изображения мала. Поэтому подобные устройства используются в приборах поискового назначения для обнаружения, например, посторонних предметов на забое скважины.

Более четкое изображение получается в случае, если в качестве преобразователя ультразвуковых сигналов используется пьезокера-

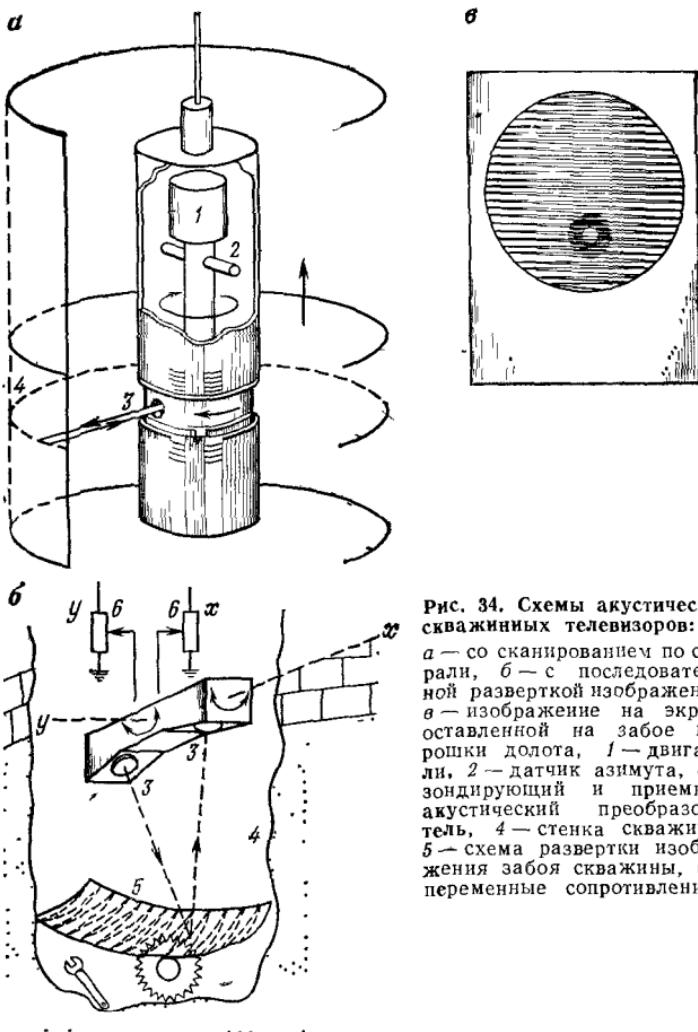


Рис. 34. Схемы акустических скважинных телевизоров:
а — со сканированием по спирали, б — с последовательной разверткой изображения, в — изображение на экране оставленной на забое шарошки долота, 1 — двигатели, 2 — датчик азимута, 3 — зондирующий и приемный акустический преобразователь, 4 — стена скважины, 5 — схема развертки изображения забоя скважины, 6 — переменные сопротивления

мическая многослойная пластинка, с поверхности которой электрические заряды снимаются электронным лучом так же, как с обычной передающей телевизионной трубки типа видикон. Фокусировка ультразвуковых волн осуществляется звуковой двояковогнутой линзой.

Такие передающие трубы со звукочувствительным слоем, являющимся одновременно и экраном передающей ЭЛТ, созданы и успешно работают в скважинных приборах как у нас в СССР, так и за рубежом.

С помощью ультразвуковых телевизионных устройств удается обнаружить на стенах скважин тектонические трещины и их расположения в пространстве, чередование продуктивных песчаников и глин. Впервые обнаружены продольные и поперечные трещины, образованные долотом в процессе бурения. Они могут служить источником осложнений в операциях по разобщению пластов на перетоках пластовых вод в нефтяные и газовые коллекторы. Длина вертикальных трещин по наблюдениям достигала 95 м, что без скважинного телевизора трудно было даже предположить.

Телевизионная техника примечается не только для изучения скважин, но и в других целях. Мне хочется рассказать об одном удачном эксперименте, выполненном при участии автора на нефтепромыслах Западной Сибири в 1971—1972 гг. В те годы, когда буровые работы в Сибири развернулись небывалыми темпами и объемами, остро стоял вопрос о принципах диспетчерского управления буровыми установками. Одна из возможностей состояла в создании телевизионной связи между буровой бригадой и диспетчерским пунктом, удаленным на расстояние 20—30 км.

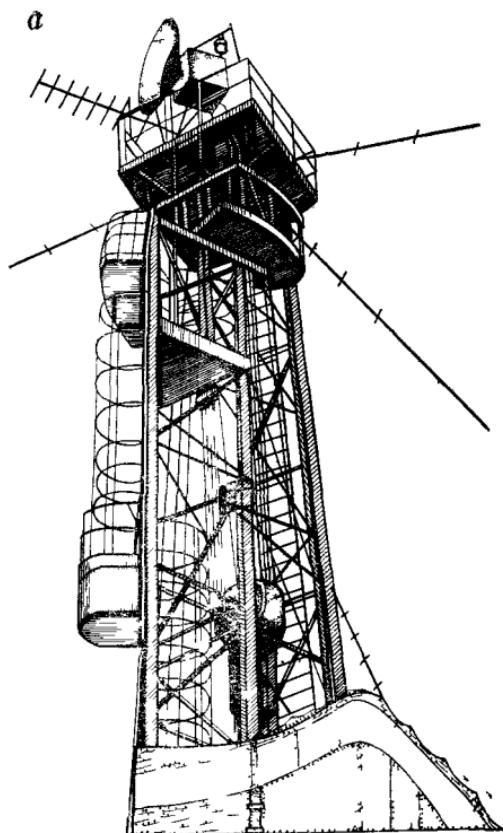
На экране телевизионной установки необходимо было получить изображение рабочего места бурильщика, включая устье скважины с ротором, и контрольно-измерительных приборов. Предполагалось, что оперативная связь буровых с диспетчерской службой позволит сократить простоя, улучшить контроль за выполнением технологических рекомендаций, повысить дисциплину труда и в конечном счете поднять его производительность.

На основе серийной промышленной аппаратуры была разработана экспериментальная радиотелевизионная установка. Передающие камеры появились на одной из буровых знаменитого Самотлорского месторождения. Антенну-параболоид диаметром 1,5 м разместили на буровой вышке на высоте 40 м, а в кульбаке — аппаратуру (рис. 35). Изображение передавалось двумя телевизионными камерами.

Диспетчерский пункт находился в 22 км. Он имел приемную антенну высотой 30 м и контрольный пульт. Диспетчер мог вызвать бурильщика по громкоговорящей связи через отдельный радиоканал.

Аппаратура обеспечивала устойчивую передачу черно-белого изображения и звукового сопровождения в любое время суток при 12 ч непрерывной работы. Качество передач оценивалось вполне удовлетворительным, за исключением тех редких случаев, когда буровая вышка и вместе с нею передающая антенна подвергались сильным вибрациям.

Качество изображения и удобство управления предполагалось повысить за счет применения проекционной светоклапанной системы,



б

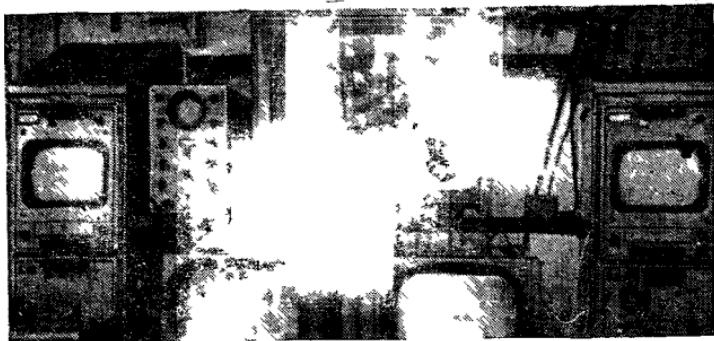


Рис. 35 Передающая телевизионная антенна на буровой вышке (*а*), диспетчерский пульт (*б*) на экране — изображение бурильщика у лебедки

имеющей телевизионный экран площадью выше 8 м². Телезрители часто видят такие экраны в программе «Время», когда идут телевизионные репортажи из центра управления космическими полетами.

Этими экспериментами впервые в Западной Сибири была подтверждена возможность телевизионной диспетчерской связи.

Описаны интересные опыты по использованию телевизионных передающих камер в подземных условиях в шахтах. Так, при подземной разведке Индерского калийного месторождения в Казахстане при бурении скважин наблюдалось выделение метана. Он находился под давлением, превышающим геостатическое в 5 раз. Метан взрывоопасен. Кроме того, при высоких давлениях возможен выброс инструмента из скважины. В таких случаях управление буровым станком делается дистанционным. Прямые наблюдения за изливом жидкости на устье скважины, обычно свидетельствующим о начале выброса, сопряжены с большой опасностью. Здесь-то и пригодилась промышленная телевизионная установка.

С увеличением глубин скважин и объемов морского бурения появились сложные буровые установки, оснащенные механизмами для полной автоматизации всех процессов бурения. Примечательно, что состав буровой бригады почти не увеличился. В немалой степени этому способствовало телевидение. Зрительная информация поступает в пульт управления со всех ответственных мест.

Так, в американской автоматической установке АДМ-1 передающая телевизионная камера установлена внутри труборазворота — устройства для автоматического свинчивания бурильных труб. Камера следит за техническим состоянием резьбы и соосностью соединений.

Телекамерами оснащены все современные буровые установки для сверхглубокого бурения.

Без телевидения стали немыслимы корабли-бурильщики нефтяного флота. На Каспии, в объединении «Каспморнефть», действует буровое судно, оснащенное установкой для шланго-кабельного бурения. Гибкий шланг вместо традиционных стальных труб — ее отличительная особенность. При работе такой установки предусмотрено участие подводной телевизионной камеры. Основное ее назначение — наблюдение за устьем скважины, которое легко потерять.

Вообще поиск устья скважины при морском бурении стал одной из главных проблем океанских буровиков. Эта проблема стоит тем остree, чем глубже слой воды над устьем. Существует множество способов наведения конца бурильной колонны на устье скважины. Один из них — телевизионный.

При неспокойном море судно не остается на месте, поэтому при повторном вводе инструмента в скважину на дне моря тре-

буется воистину снайперская точность опускания долота в заданную точку. Фирмой «Эдо Уэстэрн» разработано телевизионное устройство, которое помещается на кабеле внутри долота и передает изображение дна моря (рис. 36). Телекамера позволяет определять положения устья скважины в круге диаметром 300 м за 45 секунд с точностью до нескольких десятков сантиметров.

Подобная система прошла испытания при эксплуатации исследовательского бурового судна «Гломар Челленджер», работающего по международному проекту глубоководного бурения. Глубина моря составляла 1800 м.

Из этого следует, что кроме ультразвукового способа телевизионного осмотра стенок скважин пока не существует метода визуального наблюдения сквозь непрозрачную жидкость. Что же, обычные телевизионные способы непригодны и не существует путей их улучшения? Не совсем так.

Качественное изображение стенок скважины, обладающее максимальной информативностью, можно получить, если будут разработаны способы и методы местного освещения промывочной жидкости на ограниченном по длине участке скважины вблизи точки наблюдения. Желательно при этом, чтобы изображение было стереоскопическим и цветным. Для этих целей понадобится соот-

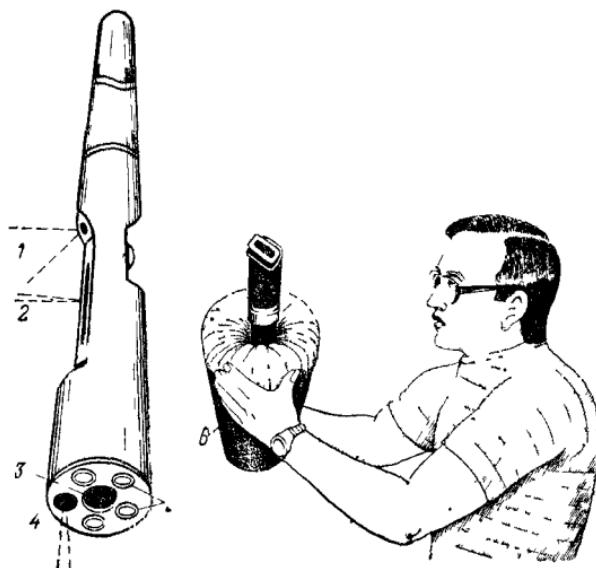


Рис. 36. Сонарное телевизионное устройство для контроля повторного ввода бурильного инструмента в скважину:

1 — датчик угла отклонения; 2 — сканирующий датчик; 3 — телекамера, 4 — датчик высоты; 5 — светильники, 6 — сонарный датчик вводится в отверстие колонкового алмазного долота

вествующая телевизионная аппаратура. В некоторых случаях окажутся целесообразными методы фототелеграфной малокадровой телевизионной техники, способной резко увеличить качество изображения, глубину спуска приборов до нескольких километров и упростить кабель. Разумеется, при малокадровом телевидении скорость передачи каждой строки изображения будет низкой, но с этим придется смириться, особенно в сверхглубоких скважинах, где телевизионная камера на глубинах 5—15 км еще никогда не бывала.

Представляет большой интерес использование для скважинных наблюдений световолоконной оптики — впечатляющего достижения техники последних двух десятилетий. В одной из предложенных конструкций вместо обычного электрического кабеля применен гибкий световод, жилы которого состоят из нескольких сотен нитей оптического стекловолокна.

Круговое изображение стенок скважины через серию объективов подается на торцы волокон. Они передают на поверхность цветное изображение. Четкость его зависит от числа волокон.

Гибкость и прочность волоконного световода не уступает обычному кабелю, что позволяет использовать стандартную спускоподъемную аппаратуру и лебедки.

На поверхности в пульте управления световодные пучки подводятся к видеоэкрану. На рис. 37 показан экран волоконного световода. Он содержит матовое стекло, набор поворотных окуляров различного увеличения и фокусировочное кольцо. Ось поворотного диска с окулярами смешена относительно оси волоконных пучков. При повороте окуляры могут устанавливаться возле одного из выбранных волоконных пучков. Этим меняется детальность изображения. Каждый из семи пучков предназначен для обзора $\frac{1}{7}$ части круговой панорамы.

Для решения частных исследовательских задач может применяться телевизионная гидролокационная техника. Конструкция установок при этом значительно упрощается. Например, ряд технологических операций требует только сведений о форме сечения скважины для построения ее профиля в вертикальном разрезе. Такие данные используются в расчетах объемов цементных растворов, необходимых для крепления нефтяных и газовых скважин, и для других целей.

Один из таких приборов, названный скважинным гидролокационным профилемером и созданный в Тюменском индустриальном институте, показан на рис. 38. Его скважинная часть состоит из пьезокерамического преобразователя — акустической антенны и феррозоидового датчика азимута. Генератор ультразвуковых колебаний периодически посылает короткие импульсы к стенке скважины.

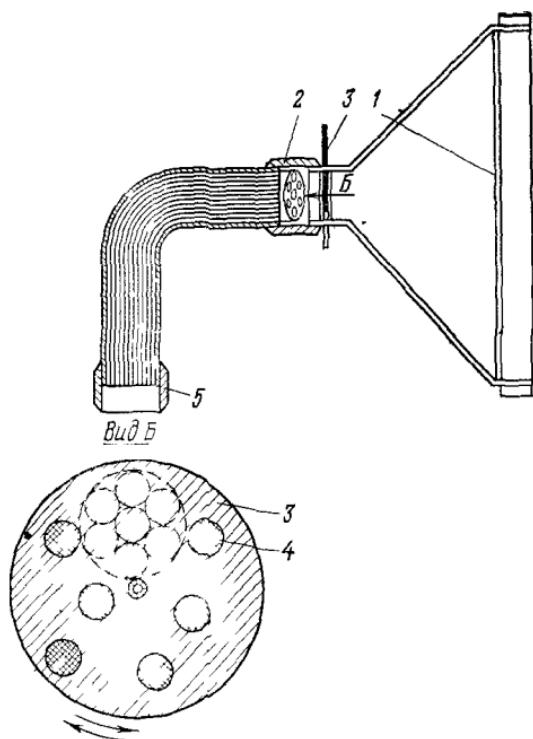


Рис. 37. Экран волоконного световода:

1 — экран, 2 — фокусирующее кольцо, 3 — поворотный диск с окуляром; 4 — сеточная шкала на окуляре 5 — пучок световодов с соединительной муфтой

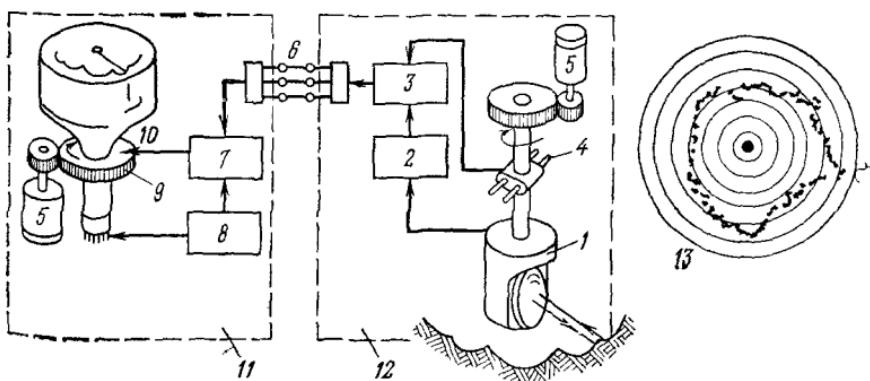


Рис. 38. Гидролокационный профилемер:

1 — пьезокерамический преобразователь, 2 — генератор ультразвуковых колебаний, 3 — усилитель и детектор, 4 — датчик азимута, 5 — двигатели, 6 — кабель, 7 — синхронизация, 8 — блок меток, 9 — вращающаяся отклоняющая система, 10 — телевизионный индикатор кругового обзора, 11 — измерительная панель, 12 — скважинный прибор 13 — изображение на экране сечения скважины

Отраженные эхо-импульсы поступают на усилитель и по кабелю — в наземную панель.

Измерительная наземная часть включает электронно-лучевой индикатор кругового обзора (ИКО), вращающуюся фокусирующую-отклоняющую систему и блок меток дальности. Вращения отклоняющей системы и акустической антенны синхронизированы.

Поперечное сечение скважины, рисуемое электронным лучом на экране, привязано к северному меридиану. В момент совпадения акустического луча с направлением на магнитный север на экране ИКО высвечивается узкий светлый сектор.

Размеры сечения ствола скважины оцениваются по калибровочным меткам. Они вырабатываются соответствующим электронным блоком в виде системы концентрических равноудаленных светлых колец с масштабом 25 мм между соседними кольцами.

Большие возможности открываются перед скважинными исследовательскими приборами, предназначеными для наблюдения стенок скважины, если удастся найти методы местного освещения промывочной жидкости. Известны отдельные любопытные инженерные решения.

В одном из них фотографический или телевизионный прибор помещают в эластичную прозрачную оболочку, заполненную прозрачной жидкостью или газом, и прилегающую к стенкам скважины. Эластичная оболочка позволяет производить фотосъемку стенок и предметов, находящихся в скважине, без замены промывочной жидкости освещенной водой.

На рис. 39 дано устройство с эластичной прозрачной оболочкой для фотографирования стенок скважины. Камера прибора заполняется прозрачной жидкостью, которая по сигналу может подаваться насосом через каналы в эластичную оболочку. Оболочка герметически отделена от полости скважины и обладает достаточной прочностью при спуске прибора на кабеле.

Во время остановки прибора для фотосъемки оболочка, прижатая к корпусу прибора при его спуске и отключенном насосе, под давлением жидкости раздувается и плотно прижимается к стенке скважины по всей своей длине. Изображение будет четким, так как непрозрачная жидкость окажется оттесненной в том объеме, который займет раздувшаяся оболочка.

После фотографирования концы кабеля, находящиеся на поверхности, меняют полюсами у источника постоянного тока, это заставляет электродвигатель вращаться в обратную сторону. Насос будет откачивать жидкость из оболочки в обратном направлении. За счет снижения давления объем оболочки уменьшится и она прижмется к корпусу прибора. Прибор готов к перемещению в скважину.

жине к новой точке фотосъемки. В дальнейшем все операции повторяются в описанной последовательности.

Для снижения износа оболочки при ее трении о стенки скважины устанавливаются предохраняемые пластины, не мешающие работе фотообъектива.

Существуют химические пути осветления дисперсных систем в скважине. Дисперсные системы по сравнению с молекулярными обладают сравнительно малой агрегативной устойчивостью, что дает

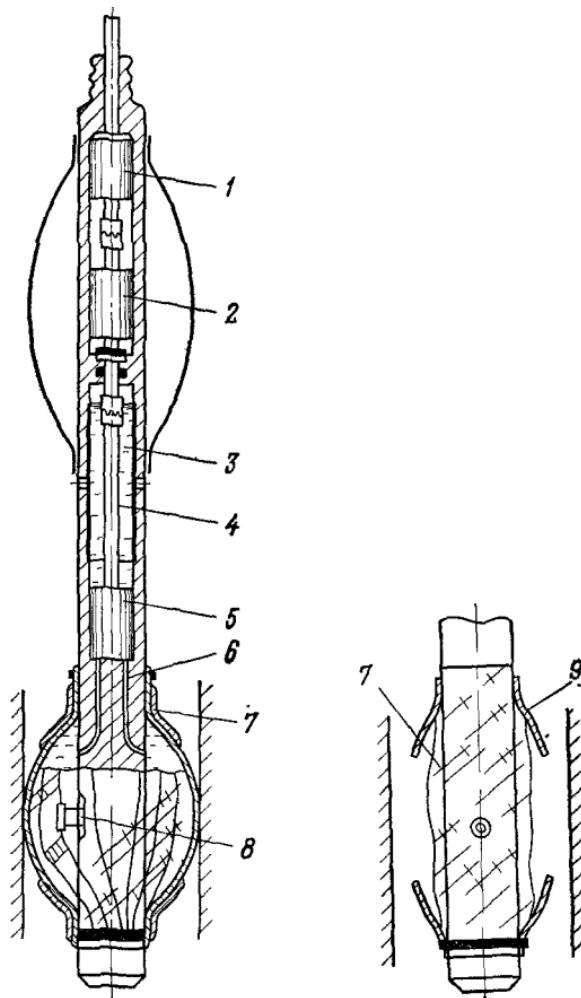


Рис. 39. Устройство с эластичной прозрачной оболочкой для фотографирования стенок скважины:

1 — электромотор постоянного тока; 2 — редуктор; 3 — камера для прозрачной жидкости; 4 — вал; 5 — ротационный насос; 6 — каналы для прокачивания жидкости; 7 — эластичная оболочка; 8 — объектив; 9 — предохранительная пластина

возможность использовать в скважине некоторые химические и механические способы локального осветления промывочных жидкостей вблизи точки съемки стенок скважины.

Агрегативная устойчивость выражается в том, что частицы не укрупняются при столкновении друг с другом. Система, лишенная агрегативной устойчивости, коагулирует, т. е. частицы слипаются в более крупные агрегаты; происходит осветление дисперсной системы, разделение дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Наиболее изучена коагуляция под действием минеральных электролитов. В этой области накоплен большой экспериментальный материал, разработана необходимая теоретическая база, объяснен механизм коагуляции под действием электролитов.

Для коагуляции суспензий минеральными электролитами расходуются значительные количества коагулянта, а полнота осаждения дисперсной фазы не всегда оказывается удовлетворительной. В связи с этим особое место занимают органические коагулянты. К ним относятся высокомолекулярные соединения агар-агара, альгината, растворимого крахмала, полиакриламида, полиметакрилата натрия, карбоксиметилцеллюлозы, сополимерванилацетата, маленинового ангидрида и др. Часто незначительные добавки к дисперсным системам резко изменяют условия взаимодействия частиц дисперсной фазы и ускоряют агрегацию частиц, что сопровождается в дальнейшем разделением дисперсионной среды от дисперсной фазы.

Наиболее действенной добавкой является полиакриламид, обладающий нитевидными разветвленными молекулами. Молекулы закрепляются одновременно на нескольких частичках, сближают их, способствуя слипанию — коагуляции.

Расход полиэлектролита и степень осветления дисперсных систем хорошо изучены. Так, эффективное действие полиакриламида сепарана на минеральные суспензии наступает при добавке 0,01—0,1 вес. % твердой фазы. В некоторых случаях коагуляция улучшается, если дисперсная система предварительно обрабатывается минеральным электролитом.

Для осветления тонкодисперсных систем используются механические методы, основанные на использовании центробежных сил. Для этой цели находят применение скважинные гидроциклоны.

В процессе осветления сточных вод применяется еще один эффективный способ — флотация, основанный на снижении массы твердой фазы путем введения в поток снизу через конус воздуха или другого газа и закрепления его на частичках. Для предотвращения разрушения хлопьев воздух должен вводиться микропульзы. Хлопья становятся легкими и приобретают положительную скорость подъема.

Итак, существуют следующие пути осветления промывочной жидкости:

изменение температуры в зоне фотосъемки, например путем вспрыска сильно охлажденных жидкостей (жидкий азот и т. п.);

механическое воздействие на дисперсную систему применением в скважине встряхивающих устройств, высокочастотных вибраторов, ультрацентрифуг и гидроциклонов;

использование скважинных устройств, создающих на отдельном участке скважины за счет потока воздуха или газа флотационный эффект;

локальное введение в промывочную жидкость электролитов (изменение рН среды), а также применение органических высокомолекулярных коагуляторов, действие которых основано на взаимодействии нитевидных разветвленных молекул на дисперсную фазу;

изменение локальной концентрации дисперсной фазы путем вспрыска прозрачной жидкости.

Во всех случаях зона скважины для локальной обработки должна быть отделена от других участков устройствами пакерного или сальникового типа.

Отметим в заключение весьма любопытную закономерность, наблюдаемую при использовании в бурении органических высокомолекулярных соединений (полиакриламид, карбоксидметилцеллюлоза и др.): в одних и тех же добавках (0,01—0,1%) они одинаково полезны для снижения турбулентных пульсаций потока промывочной жидкости, для снижения коррозии стальных труб, для коагуляции дисперсных систем при их осветлении.

НЕОБЫЧНОЕ БУРЕНИЕ

Наверное, многие из читателей увлекались в детстве широко распространенной среди мальчишек игрой в напильники или ножики. Соперники упражняются в умении особым вращательным движением, как это делают с кинжалом, точно воизить конец инструмента в землю при самых различных исходных его положениях.

Нечто подобное возможно, если в достаточно податливый грунт сбрасывать, например, с летящего самолета, специальное устройство, проникающее внутрь и несущее на себе датчики тех или иных физических показателей грунта, подлежащих измерению. С помощью радио эти сведения передаются на приемную радиостанцию.

Конечно, много датчиков не установишь, но в тех случаях, когда исследуемая площадка недоступна для обычных исследова-

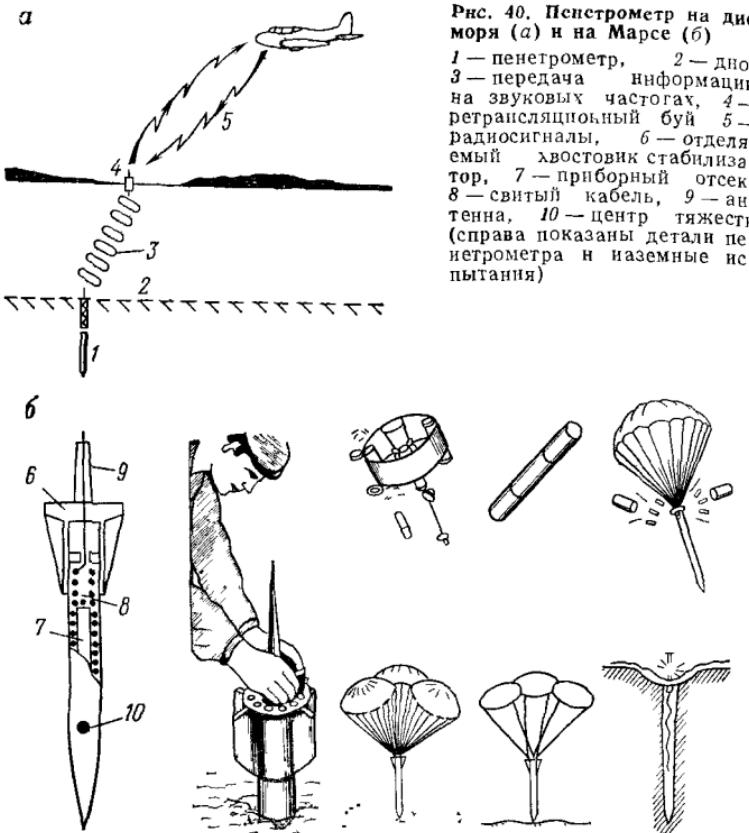


Рис. 40. Пенетрометр на дне моря (а) и на Марсе (б)
 1 — penetрометр, 2 — дно, 3 — передача информации на звуковых частотах, 4 — ретрансляционный буй, 5 — радиосигналы, 6 — отделяемый хвостовик стабилизатор, 7 — приборный отсек, 8 — свитый кабель, 9 — антenna, 10 — центр тяжести (справа показаны детали погружения и наземные испытания)

тельских средств (высокие и недоступные горы, ледники, дно озер и морей, болота и т. п.), такой способ остается единственным возможным. Он и применяется в подобных условиях.

За рубежом для передачи океанографической и сейсмической информации о морском дне, перспективном на нефть и газ, успешно испытано проникающее в дно устройство (рис. 40), названное penetрометром.

Пенетрометр на дне моря соединен кабелем с блоком отбора данных. Последний содержит миникомпьютер, генератор и акустический преобразователь. Акустические сигналы передаются на плавучий буй. От буя сведения идут по радиоканалу на приемник корабля или самолета. Возможна передача командных сигналов в обратном направлении.

Пенетрометры сбрасываются с самолета или вертолета на суши. Форма прибора делается благоприятной для заглубления в грунт.

В отдельных случаях свободно падающий торпедоподобный снаряд проникал в землю на глубину до 100 м. Хвостовые стабилизаторы и тщательно сбалансированный центр тяжести обеспечивают устойчивое падение снаряда. Если в составе аппаратуры находится только один акселерометр (измеритель ускорения торможения), то даже в столь простом исполнении penetрометр дает весьма ценную информацию о составе переслаивающихся горных пород в скважине, прокалываемой снарядом.

Сведения через передатчик и антенну передаются на приемную станцию. Расшифрованные осциллограммы дают полную информацию о глубине залегания и мощности горных пород. В частности, таким способом определялись запасы и уровень грунтовых вод для водоснабжения в пустыне.

Глубина проникновения зависит не только от твердости пород, но и величины кинетической энергии снаряда. Для увеличения глубины скважины penetрометр сбрасывают с самолета в момент пикирования. Точность попадания обеспечивается бомбовым прицелом.

Если по трассе самолета будет сброшено несколько penetрометров, то геологи получают возможность сразу же иметь сведения о геологическом профиле протяженностью несколько километров. Сколько сил, времени и средств может сэкономить новый способ исследования!

Благоприятные возможности необычного прибора и его главное преимущество — возможность передачи сведений из недоступных для человека мест — заинтересовало космических исследователей. Действительно, если сбрасывать такие снаряды с орбитального отсека спутника Марса, то изучение подповерхностных слоев планеты значительно упростится и не понадобятся сложные буровые установки.

В США закончены предварительные испытания penetрометров на одном из метеоритных кратеров в Калифорнии, где песчано-лавовый грунт сходен с поверхностными наносами Марса. Как сообщается, за последние годы тысячи penetрометров погружались в арктический лед, песок, граниты и всюду результаты были удачными. С их помощью измерялась даже электрическая проводимость потоков лавы на одном из вулканов Гавайских островов.

Пенетрометр представляет собой цилиндр диаметром 9 см и длиной 1,2 м. С орбитального отсека прибор отстреливается пиропатроном в направлении, обратном движению станции. Гашение скорости приведет к падению цилиндра в направлении поверхности Марса. Дальнейшее торможение будет происходить за счет парашютной системы. После удара о грунт на поверхности останется хвостовик penetрометра с передатчиком и антенией. Кабель соединен

няет передатчик и приборы пенетрометра (см. рис. 40). С орбитальным отсеком и Землей прибор связан по радио.

Ожидается, что с помощью таких приборов (а их будет несколько) выявятся запасы грунтовых вод в вечной мерзлоте планеты, а также до сих пор неизвестные геотермические характеристики, изменяющиеся с глубиной. Отдельные варианты приборов способны передавать изображения поверхности и фиксировать сейсмоданные.

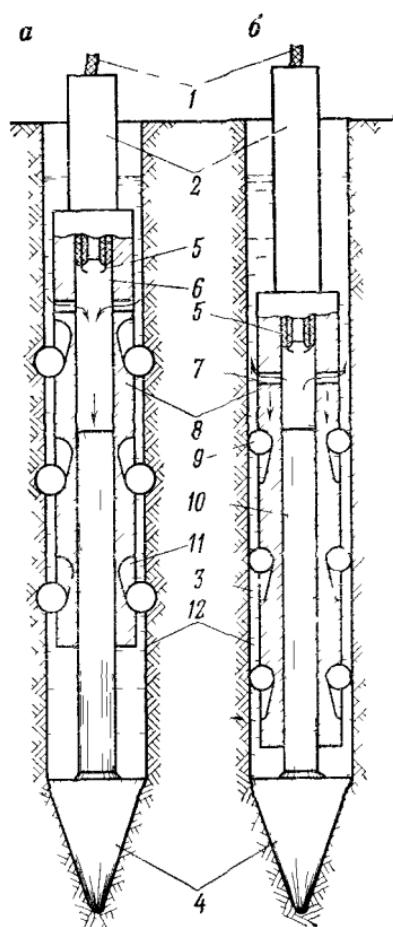


Рис. 41 Импульсный снаряд, действующий от электронскрового разряда в жидкости

1 — кабель, 2 — детали корпуса, 3 — промывочная жидкость 4 — конус, 5 — электроды, 6 — вода 7 — канал, 9, 11 — шарники и выемки 10 — шток 12 — стенка скважины

Питается зонд двумя термоэлектрическими радиоизотопными генераторами.

Пенетрометры будут полезны при изучении других планет и их спутников, астероидов и ядер комет.

Погружение пенетрометра в грунт возможно и на других основах, не обязательно за счет сбрасывания его с высоты. Такая необходимость может появиться в обычных земных условиях для получения скважин заданной глубины при строительстве, на геологоразведочных работах и др. В Тюменском индустриальном институте спроектирован импульсный снаряд для сооружения скважин, основанный на использовании электрогидравлического эффекта. Как известно, при разряде электрического тока в замкнутом пространстве в воде образуется зона высокого давления — гидроудар. Его можно использовать для продвижения пенетрометра в грунт.

На рис. 41 показаны устройство и схема работы импульсного снаряда. Он состоит из гильзыцилиндра, снаряда, имеющего плунжер и заостренную часть. В верхней части гильзы находится рабочая камера с двумя электро-

дами. В верхний конец гильзы ввинчена колонна эксплуатационных труб, через которые пропущен двухжильный электрический кабель низкого напряжения. Электрический кабель соединен с блоком — формирователем импульсов, от которого ток высокого напряжения 50—70 кВ подается к электродам, закрепленным в изоляторах.

Для поступления воды в цилиндр при рабочем ходе плунжера и для выпуска воды из цилиндра при опускании гильзы в стенках последней имеются отверстия. Они соединяют цилиндр с затрубным пространством.

Гильза в момент электрического разряда заклинивается в скважине посредством шариков, помещенных в пазах стенки гильзы.

Заклинивание гильзы происходит под воздействием импульса, стремящегося переместить гильзу вверх. Расклинивание гильзы следует после затухания импульса под действием массы гильзы, колонны эксплуатационных труб и гидравлического давления столба воды в скважине.

Импульсный снаряд работает в результате электрического разряда между электродами в жидкости, заполняющей рабочую камеру. Создается высокое давление. Последнее, воздействуя на плунжер снаряда, заставляет снаряд проникать в породу на некоторую глубину. Создавая электрические разряды определенной частоты, можно обеспечить импульсно-непрерывное углубление снаряда.

В одном случае гильза заклинивается в стенке скважины (см. рис. 41, а), а в другом — она освобождается от заклинивания и опускается вниз (см. рис. 41, б).

Недавно мне удалось ознакомиться с гидравлическим скалом — тоже по сути своей скважинным устройством.

Все знают, как трудно расколоть крупный камень, если габаритные размеры его превышают размеры вагонетки или возможности грузоподъемного крана. Изобретатели Н. Орлов и А. Рашевский предложили гидравлическое устройство, которое работает почти по описанному выше принципу. Только вместо электрогидравлического разряда в жидкости они применили патронник с зарядом пороха и затвор с ударником и боевой пружиной.

Скалолом вставляется в отверстие, предварительно пробуренное в скале. При выдергивании чеки происходит выстрел и за счет мгновенного повышения давления в жидкости «иегабарит» разрывается.

ПОЧТОВЫЕ МАРКИ РАССКАЗЫВАЮТ

Рассматривая как-то свой старый альбом марок, я обратил внимание, что в разные годы, в том числе послереволюционные и предвоенные, были выпущены марки по горному делу, в которых нет-нет да появлялись рабочие с бурильными молотками, нефтяные вышки, буровые установки геологоразведчиков, а в последние годы — космические буровые установки, работавшие на Луне.

«А почему бы не избрать темой для коллекционирования свою специальность?» — подумалось мне, и в один вечер разрозненные, лежащие в конвертах и запасниках марки объединились в стройную коллекцию.

Здесь — история страны и довоенных пятилеток, наших нефтяных и неосвоенных районов, стахановское движение тридцатых годов, восстановление разрушенного войной народного хозяйства, послевоенные пятилетки и освоение Луны, поиски новых месторождений полезных ископаемых.

Рассказ начнем с тех лет, когда завершалась гражданская война. До революции в России не было марок о бурении. Внимание общественности к горному делу вообще, а уж к бурению тем более, в те годы было ничтожным. После Великой Октябрьской социалистической революции единственному в стране нефтяному району — Баку рабоче-крестьянское правительство стало уделять самое пристальное внимание. Была образована Азербайджанская ССР. В октябре 1921 г. в обращение поступили очередные знаки почтовой оплаты республики (рис. 42). На одной из них достоинством в 2 руб. была изображена буровая вышка с фонтанирующей струей нефти. На другой — панорама сурханских нефтепромыслов с лесом нефтяных вышек на горизонте.

Качество марок было плохим, поэтому воспроизводство этих марок затруднительно. Желающие могут познакомиться с ними в книге Е. С. Войханского или в филателистическом словаре, выпущенном тем же издательством¹.

Несколько позже, в 1923 г., была выпущена серия марок Закавказской Советской Федеративной Социалистической Республики. Нефтяные вышки снова стали на них символом основного богатства недр Закавказья. Между прочим, стоимость одной из этих марок достигала 350 000 руб. Даже для начала 20-х годов цифра выглядела чересчур внушительно. Позже изображение вышки вошло в герб Азербайджана и Туркмении.

¹ Войханский Е. С. Почтовые марки Азербайджана. М., Связь, 1976.



Рис. 42. Тема «Бурение» на почтовых марках

В 1925 г. отмечалось 30 лет изобретения радио русским ученым уральцем А. С. Поповым. Событие, которое в 20-е годы стало политическим (требовалось отстоять приоритет русского изобретателя), было отмечено почтовой маркой. На ней изображен портрет

А. С Попова на фоне антёны, установленной в 1900 г. на острове Готланд при спасении броненосца, севшего на камни. В этой операции участвовал горный инженер С. Г. Войслав с группой мастеров-бурников. Интересно, что марка впервые в мире была выпущена с текстом на эсперанто.

Наиболее часто, особенно в 30—40-х годах, на марках рисовали отбойный бурильный молоток в руках шахтера. Эта тема очень распространена. Первая марка с таким изображением была выпущена в 1938 г. в серии, посвященной 20-летию ВЛКСМ. Чуть позже, в 1939 г., одна из марок стандартного выпуска, окрашенная в красный цвет, продолжила эту тему, как и марка 1948 г. Старшее поколение хорошо помнит эти марки, отражавшие трудовую обстановку тех лет.

Привлекательна зеленая марка с четкими рисунками буровых вышек, выпущенная накануне войны, в январе 1941 г., в серии «Индустриализация в СССР». Кстати, авторы серии на одной из марок также не обошли тему рабочего с бурильным молотком. Немного позднее, в 1946 г., а затем в 1957—1958 гг., тема бурильного молотка снова возродится при выпуске марок, посвященных восстановлению и развитию народного хозяйства СССР, юбилейной серии и 40-летию ВЛКСМ.

У нас часто выпускают превосходные серии марок о писателях, художниках, ученых. Так, в 1951 г. появилась серия из 15 марок с портретами выдающихся ученых нашей Родины. Среди них — портрет Д. И. Менделеева. В своей научной жизни он много внимания уделял развитию нефтяного дела в России, интересовался бурением.

В личных архивах ученого обнаружены записи, датированные 1864 г., об изучении им литературы по бурению скважин. Среди прочих записей выделяется упоминание об одном из первых в России капитальном учебнике по бурению А. И. Узатиса (1843). В итоге литературного обзора Д. И. Менделеев сделал попытку личной оценки путей усовершенствования инструментов для ударного бурения: долот, ударных штанг, приспособлений для отбора проб горных пород, легких передвижных буровых вышек и др. Сохранились эскизы наброски этих инструментов (рис. 43).

В июне 1958 г. отмечалось 50-летие загадки века — Тунгусского метеорита. Была выпущена марка с изображением падающего метеорита и с портретом минералога А. А. Кулика, впервые обследовавшего место падения. Мы уже говорили, что А. А. Кулик впервые использовал при этом буровые скважины. С его легкой руки бурение при поисках метеоритов позднее стало обычной операцией.

Скажем несколько слов о марке, к бурению, казалось бы, не имеющей малейшего отношения. Речь идет об юбилейном издании, посвященном 100-летию со дня смерти великого немецкого естествоиспытателя, географа и путешественника Александра Гумбольдта (1769—1859). Он много путешествовал по Китаю, Сибири и России. Гумбольдт был первым европейцем, который подробно описал для нас китайский способ штангового бурения, техники которого для Европы тех времен была недоступна.

Как и в 30-е годы, за последнее время много внимания в отечественной филателии уделяется освоению Арктики и Антарктики. Любопытна одна из марок, выпущенная в 1966 г. к 10-летию советских исследований южного континента. На ней показан тягач-вездеход, а вдали — бюст В. И. Ленина, установленный на полюсе недоступности. Мало кто знает, что бюст закреплен на буровой вышке, оставленной там после завершения разведочного бурения.

Разведочное бурение в 1968 г. было запечатлено серией марок «Советская геология». Одна из них показывает пробуренную скважину, в которой взорван сейсмозаряд, и передвижную буровую установку, лагерь разведчиков и вертолет — неизменный спутник геологов.

В 1971 г. в Москве проходил восьмой Всемирный нефтяной конгресс, участником которого довелось быть и автору. К началу его работы делегатам вручили памятную марку с изображением так называемой А-образной буровой вышки — эмблемы конгресса. Марку удалось приобрести прямо в перерывах заседаний конгресса, как говорится, из первых рук. Не забыта филателией и легендарная нефтяная Тюмень. В 1974 г. появилась марка «Нефть и газ Тюмени — на службу Родине».

Особо хочется остановиться на буровой космической тематике (рис. 44). Все наши выдающиеся достижения при изучении Луны автоматическими буровыми станциями не забыты филателией. Так,

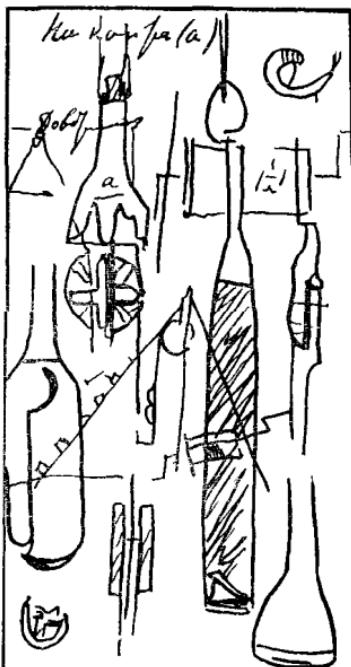


Рис. 43. Набросок буровых инструментов из записной книжки Д. И. Менделеева



Рис. 44. Космическая филателия о бурении (марки Румынии)

марки о «Луне-16» и «Луне-24» показывают крупным планом буровое устройство в полете станций, при посадке и в момент, когда возвращаемое устройство с образцом лунного грунта взлетает в сторону Земли. На космические события откликаются многие зарубежные марки: из Кубы, Польши, Королевства Бутан.

Одна из кубинских марок изображает луноход, который несет на себе крестообразный penetрометр — своеобразную буровую установку в миниатюре.

К сожалению, типографская техника сегодняшнего дня не позволяет отпечатать и показать читателю стереоскопические марки, на которых изображение выступает объемно, рельефно. Такие марки имеют растровую прозрачную решетку, как на стереоскопических открытках. В качестве примера можно указать цветные космические марки Бутана с изображением лунохода (а он нес пенетрометр) и американской лунной станции типа «Аполлон». Космонавты этой станции впервые использовали на Луне ручное бурение.

Для примера познакомим читателя с фотографиями двух румынских марок. Одна из них, стоимостью 3,4 лей, изображает эмблему десятого Всемирного нефтяного конгресса, проходившего осенью 1979 г. в Бухаресте. Эмблема — стилизованный глобус — отражает международный характер конгресса. Другая марка показывает буровую установку в Карпатских горах. Увлекательное занятие — коллекционирование марок по любимой теме!

СКВАЖИНА — ПРЯМОУГОЛЬНИК

При работе сверлом отверстия всегда бывают круглыми. Впрочем, всегда ли? Разве не приходилось иногда видеть при сверлении жести дрелью, что отверстие, к огорчению, стало вдруг овальным или в виде треугольника с выпуклыми сторонами, а иногда похожим на деформированную восьмерку? Внимательный осмотр дрели указывал на эксцентричное закрепление сверла в патроне.

Подобное нередко случается и при бурении. Однажды (это было в 50-х годах на одном из рудников Урала) я проходил по только что пройденной подземной выработке — штреку и на глубине 180 м от земной поверхности случайно увидел над своей головой отверстие скважины. Такое не часто случается, когда горная выработка пересекает разведочную скважину. Фотоаппарат, к счастью, у меня был с собой. Мой товарищ насыпал на макушку моей защитной каски порошок магния и поджег его, когда фотоаппарат был наготове. И вот что он запечатлел (рис. 45).

Слева на фотографии скважина имеет овальное сечение, справа — неправильное. Такая форма отверстия случается гораздо чаще, чем думают, особенно при бурении наклонных скважин. Кстати, фотографии сделаны на медном руднике, где для разведки колчеданных линзообразных тел, вытянутых по вертикали, никакие скважины, кроме наклонно направленных, не подходят. Причин обра-



Рис. 45. Неправильные сечения скважин

зования некруглых сечений много. Одна из них состоит в том, что на нижнюю стенку скважины со стороны бурового инструмента действует гравитационное усилие, избирательно направленное вниз. Если же горные породы перемежаются по твердости вдоль оси скважины или механические свойства пород неравномерно распределены по площади забоя, причин для искажения формы сечения скважины становится более чем достаточно.

При некоторых способах бурения, например колонковыми твердосплавными коронками со вставными резцами, сечение скважины получает форму многоугольника, а стенки ствола приобретают винтовую нарезку с большим шагом.

Отклонение формы скважины от строго цилиндрической чаще всего нежелательно. Такие искажения становятся причиной искривления скважин, аварий с бурильными трубами, некачественного цементирования. Существуют специальные методы сохранения цилиндрического ствола. Для этой цели служат разного рода центрирующие или расширяющие приспособления. Они устанавливаются в скважине над долотом и повышают качество бурения.

Однако в ряде особых случаев необычного по форме сечения скважины приходится добиваться искусственно. Например, при бурении отверстий в бетонных створах плотин и при сооружении с помощью бурения шахтных стволов и подземных выработок требуются скважины строго прямоугольного или квадратного сечения.

Трудно представить себе, что с помощью вращательного или поворотного движения бывает достижимо прямоугольное сечение, но это так. Изобретателями создано много специальных инструментов. Познакомимся с некоторыми из них.

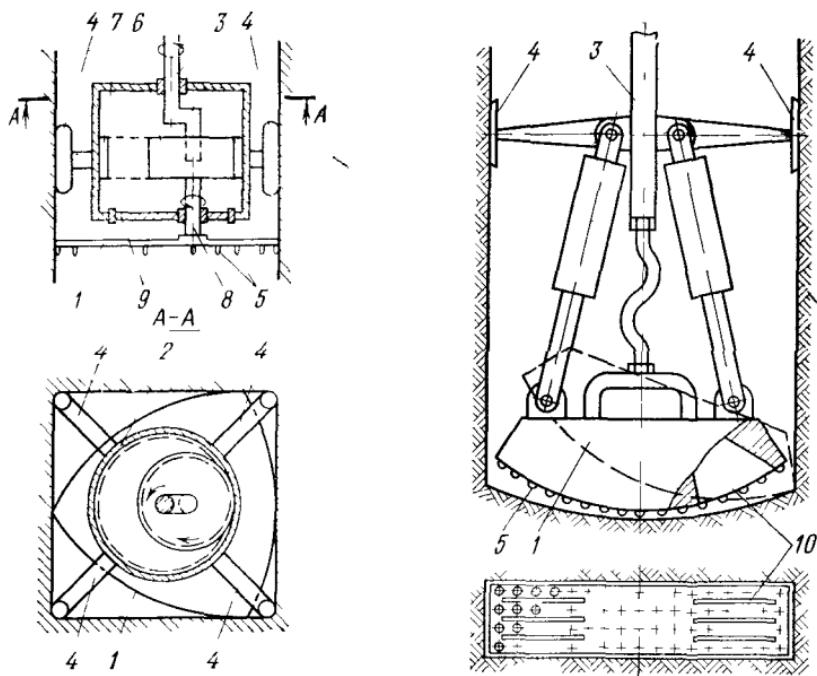


Рис. 46. Конструкции долот для бурения скважин прямоугольного сечения:
 1 — долото, 2 — невращающийся корпус, 3 — бурильная колонна; 4 — упоры,
 5 — зубья долота; 6, 7 — детали планетарного редуктора, 8 — вал,
 9 — диск, 10 — щели для промывки

Недавно в США запатентовано буровое устройство для получения скважин прямоугольного сечения (рис. 46). Основные элементы устройства включают буровую головку, планетарный редуктор с коленчатой бурильной трубой и радиальные упоры. Буровая головка имеет форму выпуклого равнобедренного треугольника и оснащена твердосплавными резцами.

При вращении бурильной трубы шестерня перекатывается по зубчатому колесу планетарного редуктора и увлекает вал. Вращение вала происходит в обратном направлении. Вместе с валом связана бурильная головка и центрирующий диск. В итоге получается скважина квадратного сечения, сторона которого равна радиусу дуги выпуклой стороны треугольника бурильной головки.

Интересная конструкция бурильного инструмента с криволинейной рабочей поверхностью предложена в Казахском политехническом институте. Долото выполнено в виде усеченного сектора плоского диска. Рабочая поверхность сектора оснащена твердосплавными зубьями. На усеченной части сектора размещены шарни-

ры, связывающие долото с механизмом циклического действия, например экспцентрикового типа, вращаемого бурильными трубами. Разрушение горной породы на забое прямоугольной скважины происходит при периодическом перекатывании долота по забою.

В корпусе долота предусмотрены щели для прохода промывочной жидкости.

СТАЛЬНЫЕ ОСТРОВА ОКЕАНА

Чаще всего о морском бурении пишут как об одной из отраслей нефтяного дела, реже упоминают о геологоразведочном бурении берегового шельфа, еще реже — об исследовательском отборе грунта и проб со дна океана. Совсем малоизвестна история бурения с поверхности воды.

Дно морей и океанов давно привлекает внимание человечества. Однако, несмотря на очевидные успехи в его изучении, наши знания здесь до обидного ничтожны. Все это дает повод ряду ученых удивленно думать: как много мы уже знаем о поверхности Луны и как мало — о дне океана у себя дома!

Еще в XVI в. при поисках месторождений соли русские буровые мастера (они же и геологи в теперешнем понимании этого слова) вынуждены были, прослеживая выклинившиеся соляные слои, ставить буровые станки не только на сухом месте, но и в озерах, болотах и на ручьях. Пожалуй, это упоминание является одним из первых, когда буровой станок имел под собой водную гладь.

Есть сведения, что в XVIII в. в Прикамье скважины («трубы») закладывались на болотах, в реках, озерах, топких ямах. Трубные мастера умели строить скважины, несмотря на множество «невыгод поверхностных, самых даже верховых вод, которых приток бывает весьма силен».

Грунтоотборники для обследования дна Каспийского моря у нас в стране известны еще со времен Петра Первого. И не просто грунтоотборники, а устройства, в которых груз, необходимый только для спуска прибора и удара о дно, автоматически сбрасывался перед подъемом трубы, — грунтоноски.

Промышленное обследование дна Атлантического океана потребовалось во второй половине прошлого века при грандиозных работах по прокладке межконтинентального подводного кабеля. Если раньше мы говорили о счастливом сочетании рождения радио рядом

с бурением, то и здесь нельзя снова не упомянуть рождение телеграфа без участия бурения. Бурение во все времена служило новейшим и перспективным направлениям техники!

Среди многочисленных конструкций морских лотов-грунтоотборников можно вспомнить конструкцию Брука (1853 г.), отличающуюся автоматическим устройством для сбрасывания груза (рис. 47). При ударе о дно петля, удерживающая шарообразное грузило, отстегивалась и ядро оставалось на грунте.

Среди достижений прошлого века считался удачным подъем грунта с рекордной для тех лет глубины моря 4450 м. Он был сделан экспедицией судна «Поркюпайн» в 1869 г.

Первый патент №-89794 на бурильную платформу с раздвижными ногами для бурения в открытом море был выдан американцу Томасу Рууланду в 1869 г. Реализация патента задержалась на много десятков лет до середины следующего века.

Исследовательский корабль «Гломар Челленджер» в 1872—1876 гг. дал геологам около пятисот проб донного грунта. Пробы поднимались паровой лебедкой, снабженной специальным амортизатором, снижающим динамические нагрузки при подъеме грунтоотборника. Это способствовало сохранению колонки грунта и естественного порядка расположения его слоев.

Нефтяное морское бурение впервые в мире было предложено горным инженером В. К. Згленицким в 1896 г. для добычи нефти со дна Каспийского моря. Позднее, в июле 1900 г., он обнародовал методику и технику разведки бурением морского дна. В. К. Згленицкий предлагал устанавливать вышки на сваях. Устье скважин ограждалось от морской воды железными кессонами.

Проект не был осуществлен, но сыграл заметную роль позднее, когда в 1925 г. в Баку по инициативе С. М. Кирова удалось пробурить первую в СССР скважину на дне моря с деревянного свайного острова. Еще раньше, Первого мая 1923 г., первый в стране засыпной нефтепромысел на мелководном участке каспий-

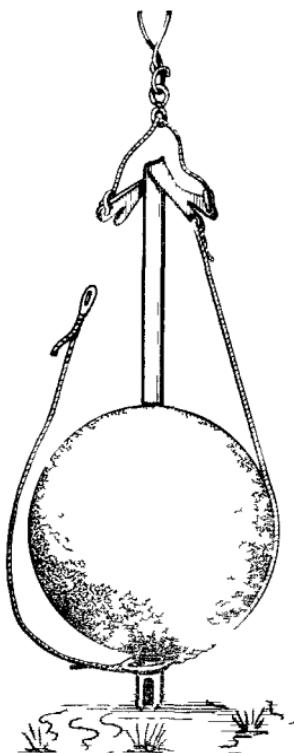
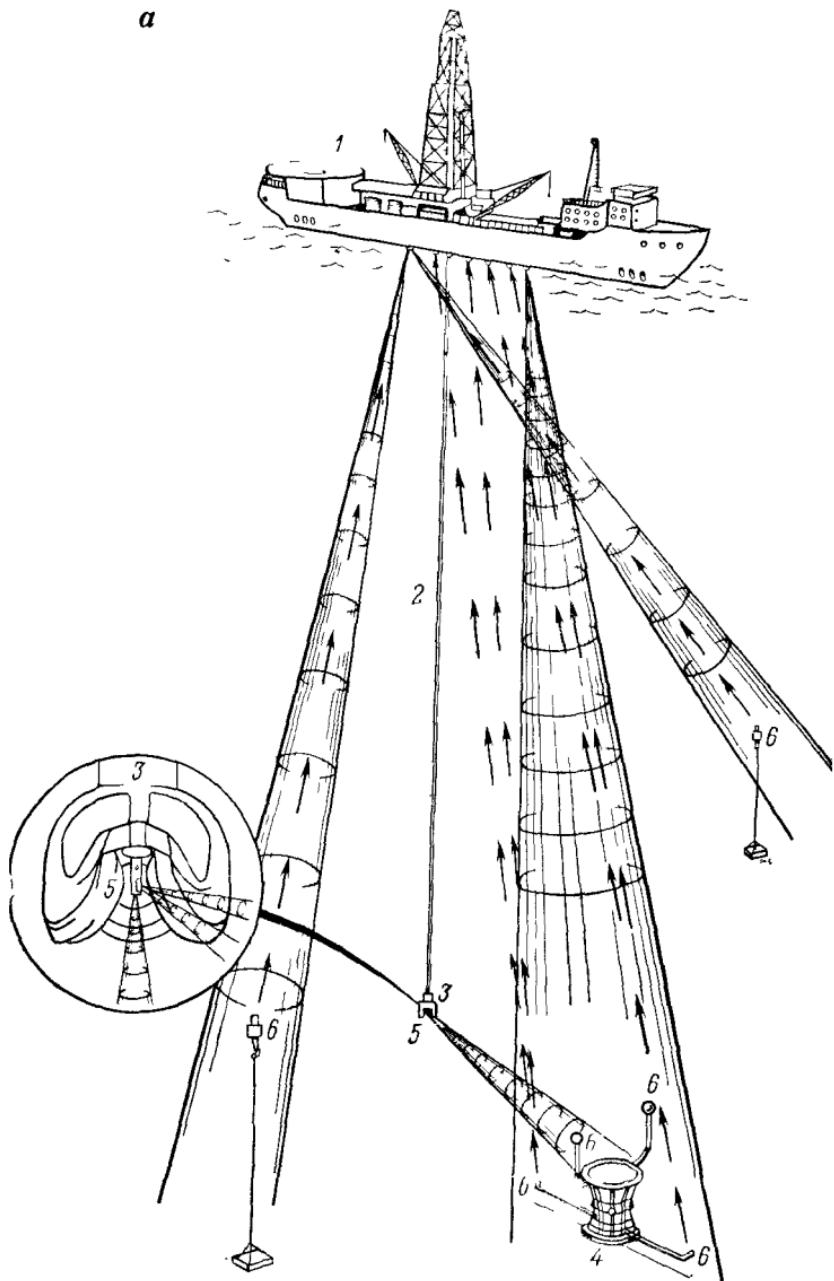


Рис. 47. Лот-грунтоотборник Брука



ского дна был открыт в Баку и районе Биби-Эйбата. В нашей стране широкое развитие после войны получило бурение с металлических эстакад, уходящих с берега в море на многие километры.

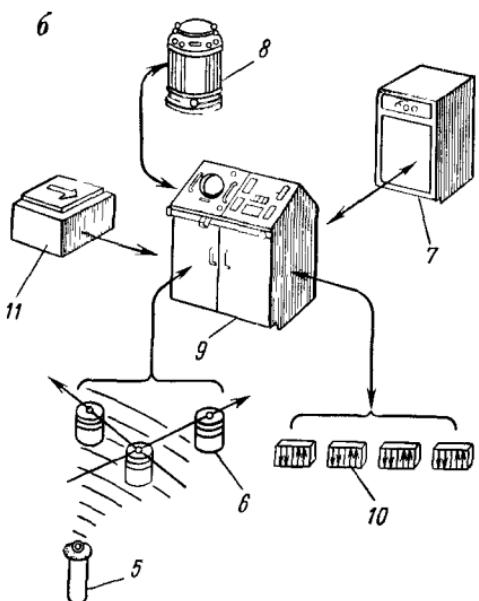


Рис. 48. Радио- и акустические маяки для повторной установки на устье скважины бурового оборудования (а); система контроля динамической устойчивости бурового судна (б).

1 — динамически позиционированное судно, 2 — бурильная колонна, 3 — долото, 4 — устье скважины с направляющей воронкой, 5 — сонарное устройство пеленгатора, 6 — маяки дальнего и ближнего обнаружения, 7 — цифровая ЭВМ, 8 — корабельный гирокомпас, 9 — центральный контрольный пульт, 10 — разделятель стартового ускорителя, 11 — блок контроля вертикального перемещения

Так, на Каспии протяженность металлических эстакад превышает 300 км.

За рубежом первую скважину с надводной платформой соорудили на озере Каддо Лейк в штате Техас в США. И лишь к 1933 г. относится первая попытка морского бурения вдали от берега со стационарной установки.

С тех пор морское бурение в мире получило весьма широкое распространение. Сейчас морские буровые установки считаются самыми крупными сооружениями, которые когда-либо строило человечество.

Морские буровые установки строятся надводными плавучими и стационарными подводными.

Плавучие буровые установки можно создать проще всего, если приспособить существующие морские суда. Переоборудование такого судна сводится к установке буровой вышки и оборудования. Сначала буровые станки устанавливались консольно, а позднее бурение стали вести через отверстие в центре судна. Бурильные трубы укладывали

лись горизонтально. Главные проблемы начинаются позже, при бурении скважины, особенно если глубина моря составляет несколько сотен метров.

В общих чертах эти проблемы формируются так:

необходимость создания надежной системы динамического позиционирования судна: устье скважины в море потерять очень просто, а отыскать его бесконечно трудно (якорные системы удержания судна над заданной точкой дна при больших глубинах неэффективны);

потребность в технике и оборудовании для повторного ввода инструмента в скважину при спуско-подъемных операциях и замене долота;

безопасность и надежность управления работой подводного устьевого превентора, автоматически закрывающего скважину при аварийном выбросе нефти или газа в процессе бурения (от этого зависит не только потеря скважины и нефти, но и загрязнение моря).

Общий вид такого судна показан на рис. 48. Наибольший интерес представляет электронно-счетная система динамической стабилизации корабля над заданной точкой дна океана — устьем скважины. Положение судна контролируется радиомаяками или акустическими датчиками. Последние более предпочтительны при больших глубинах моря.

Система контроля положения судна через короткие промежутки времени передает информацию вычислительной машине. Она автоматически включает двигатели винтов, и корабль постоянно находится на одном и том же месте. Ручное управление оказывается, как правило, неэффективным, особенно при волнении поверхности моря.

На рис. 48,б показаны системы контроля динамической стабилизации бурового судна. В их состав входит гироскоп, автоматически разворачивающий судно в положение наименьшего влияния ветра и волн. Неприятности от вертикальных колебаний преодолеваются различного рода телескопическими и другими компенсаторами, вплоть до автоматического управления положением кронблока.

О сложности описанной системы можно судить по ее стоимости: 4 млн. дол., а ежесуточные затраты на обслуживание бурового судна — 25 тыс. дол.

Непрерывность буровых операций в море зависит от надежности попадания инструмента в устье скважины на дне океана. При больших глубинах моря различного рода направляющие приспособления себя не оправдали — они неустойчивы.

Пути решения задачи были ясны после оценки способов поиска устья гидролокационным, акустическим методом и разнесенными радиомаяками. На устье стали монтировать специальные направляющие воронки. Судно перемещается до тех пор, пока два отдельных радиомаяка не окажутся друг над другом по вертикали. Один из маяков находится на дне возле устья, а второй монтируется на конце инструмента, спускаемого на дно. При спуске с судна бурильной колонны долото и воронка устья на экране пульта управления видны как светящиеся точки, которые совмещаются оператором. Точность попадания весьма высока и достигает 1—4% от мощности водной толщи. Этот вид подводных операций надежно отработан для доступных глубин моря.

Французскими корабелами по заказу геологоразведчиков Каспия построено специализированное судно для изучения дна древнего Хазара — так называли Каспийское море в Азербайджане. Общая компоновка корабля в целом повторяет только что описанную конструкцию: в центре установлена буровая вышка высотой 22 м. Наиболее интересной новинкой корабля стало использование гибкого шланго-кабеля, с помощью которого можно проходить геологоразведочные скважины глубиной до 300 м при такой же глубине моря. Вертикальное расположение части гибкого шланга над устьем скважины обеспечивается плавучим буем. Он погружается в море на глубину, исключающую волнения морской поверхности. Спуско-подъемные операции с помощью шланго-кабеля делаются непрерывными. Благодаря гибкости колонны допускаются любые амплитуды вертикальных перемещений судна при шторме. Впрочем, на судне предусмотрена возможность обычного бурения на легкосплавных бурильных трубах.

Установка судна на точке бурения стабилизируется системой динамической стабилизации, аналогичной описанной. Имеется телевизионная установка для наблюдений под водой. Корабль прошел путь по Балтийскому морю, Волго-Балтийскому каналу и сейчас работает в Баку.

Морские суда, приспособленные для бурения, обладают малой устойчивостью, а иногда и грузоподъемностью. Глубокие скважины в несколько тысяч метров для них недостижимы. Делаются попытки строить специальные плавучие платформы. Некоторое представление о них можно получить из рис. 49, где показано полупогруженное буровое основание, спроектированное Французским нефтяным институтом. Оно рассчитано на бурение скважин глубиной до 9000 м.

Стационарные морские буровые платформы для бурения скважин на нефть в настоящее время находят все большее распространение во многих странах мира. Сейчас в общей сложности их

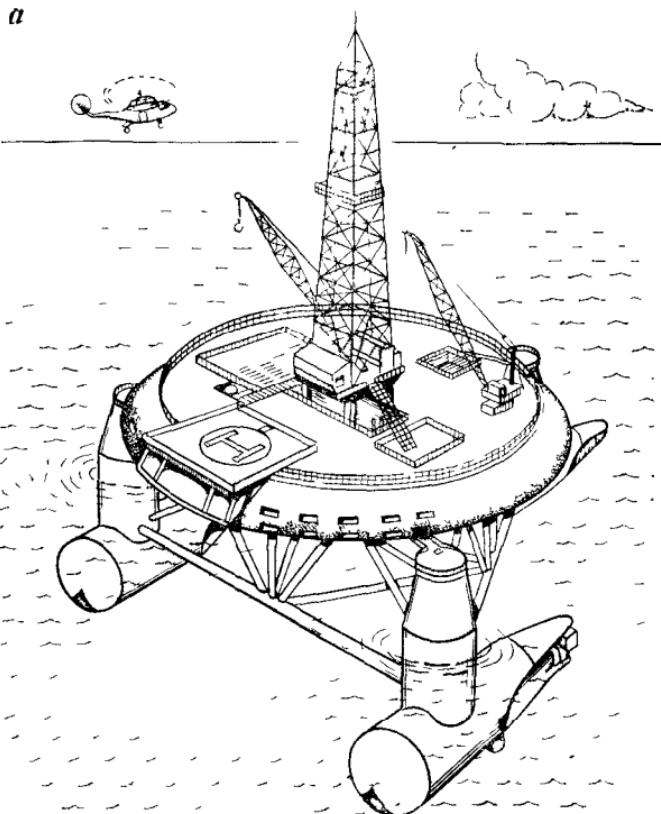


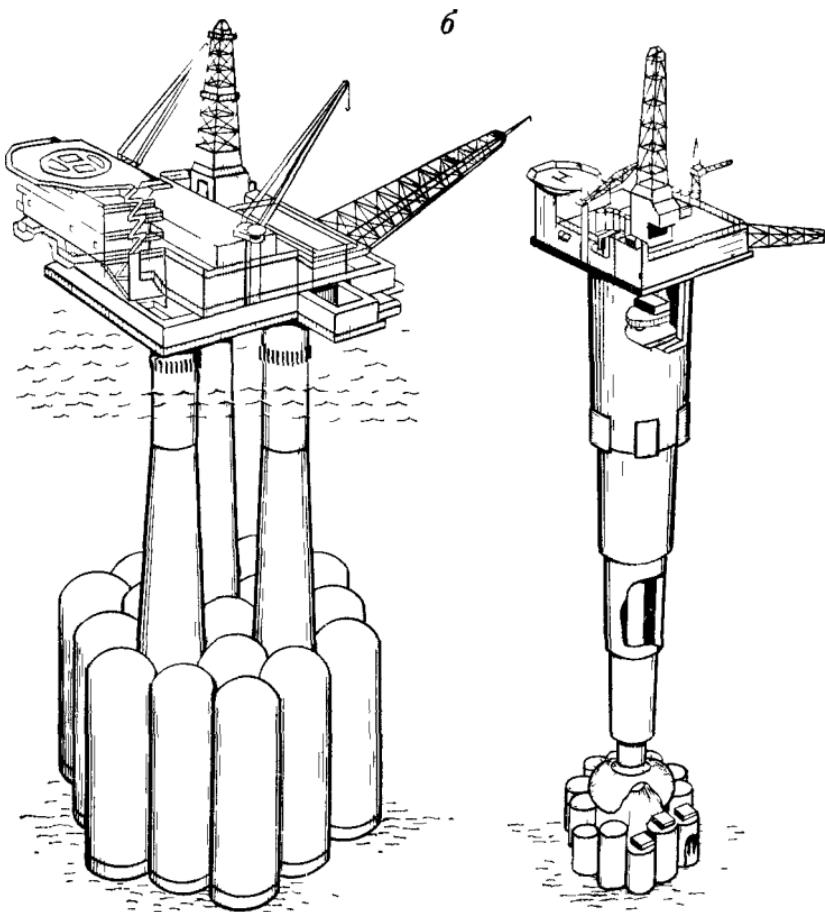
Рис. 49. Полупогруженая буровая установка Французского нефтяного института

насчитывается более 450. В СССР такие установки работают в акваториях Каспийского, Черного и Охотского морей. Это домкратные установки типа «Хазар», «Апшерон», «Азербайджан», «Баку» и «60 лет Октября».

Отечественные плавучие установки имеют металлическую конструкцию с высотой опор 108 м. Глубина бурения — до 6 км.

Спроектированы установки для бурения скважин при еще большей глубине моря — до 200 м. Опоры (их четыре) опускаются на дно автоматически до упора. На буровой установке созданы отличные условия для труда и отдыха. К услугам команды каюты, столовая, кинозал, клуб, комнаты отдыха и быта.

Наиболее часто стационарные платформы можно встретить в



(a) и бетонные буровые платформы, одна из них телескопическая (б)

Северном море. Природные условия Северного моря очень сложные: большие глубины, частые, порой непредсказуемые штормы. Высота волн может достигать 30 м. Все это заставляет конструкторов искать нетрадиционные решения при проектировании буровых платформ.

Британская нефтяная компания располагает самой большой в мире морской платформой, рассчитанной на глубины моря до 180—200 м (рис. 50). Для сравнения на рис. 50 показаны наиболее грандиозные сооружения Лондона: телевизионная башня главного почтового управления и собор св. Павла. Этот собор, похожий на наш Исаакиевский в Ленинграде, выглядит карликом рядом со стальной опорой буровой платформы.

Стоимость таких установок необычно высокая.

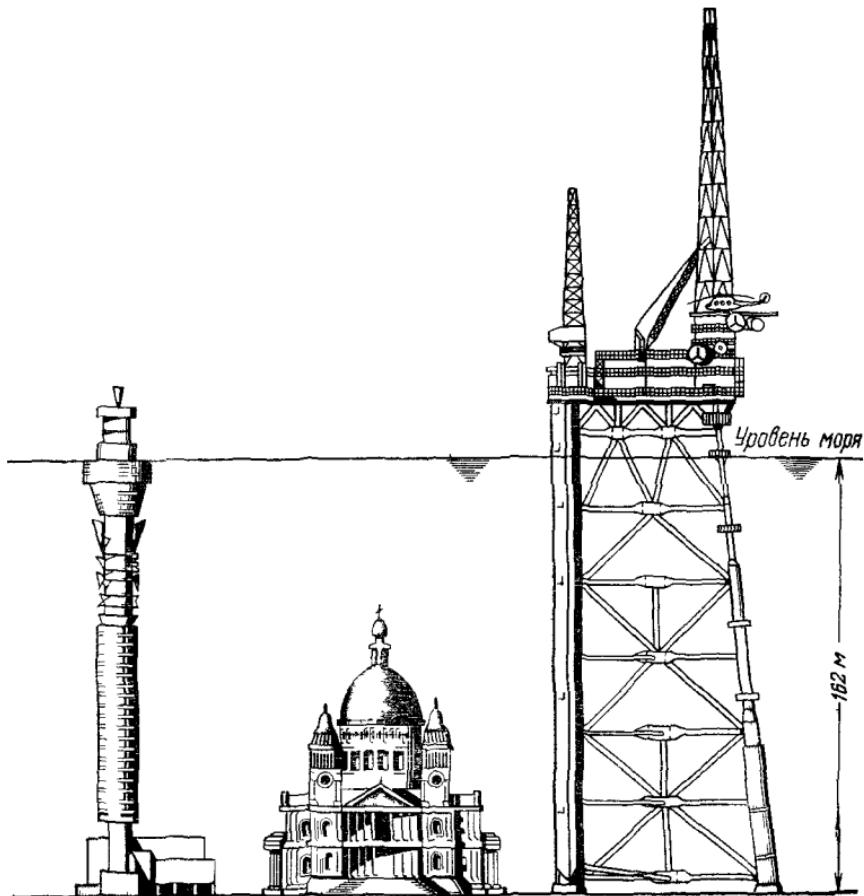


Рис. 50. Буровая установка для глубин моря до 180—200 м. Рядом для сравнения показаны наиболее высокие здания Лондона: телевизионная вышка и собор св. Павла

Смелость, с которой нефтяные корпорации мира идут на риск больших капиталовложений при строительстве и монтаже крупных морских нефтепромысловых и буровых освоений, объясняется очень просто: малая потребность в рабочей силе. Для иллюстрации сказанного можно привести одно весьма показательное сравнение. На голландском газовом месторождении Гроенингей в Северном море работает 600 человек, а во всей угледобывающей промышленности Англии — 250 тыс. Количество же энергии от добываемого топлива в том и другом случаях примерно одинаковое.

Наибольшую долю стоимости платформ составляет сталь. В крупнейших установках ее расходуют до 45—57 тыс. т. Для сравнения — масса Эйфелевой башни в восемь раз меньше. Попытки

удешевления строительства связаны с заменой металла на более дешевый и долговечный — железобетон, что особенно важно в морских условиях при высокой скорости коррозии металлических конструкций. Опыт показывает, что бетонные основания экономически выгодны при глубинах моря выше 75—90 м. Расчетная продолжительность их службы — 30 лет.

На рис. 49 были даны две характерные конструкции таких платформ. Внизу размещены бетонные резервуары для нефти.

Любопытна конструкция платформы на шарнирном основании. Ее цилиндрические бетонные элементы телескопически входят друг в друга. Шарнирное соединение компенсирует колебания платформы при волнениях на море.

Внутри телескопического набора бетонных труб размещено шахтное направление с транспортным подъемником, трубопроводами, аварийными лестницами и др. Платформа спроектирована для водных глубин до 400 м.

Во всем мире инженеры приходят к выводу, что дальнейшая эскалация массы стационарных морских установок (а она неизбежна при дальнейшем увеличении глубин моря) больше продолжаться не может. По-видимому, плавучие буровые установки специальной конструкции придут им на смену, так как цена установки, имеющей самое совершенное оборудование, включая электронное, будет все же меньше стоимости тысячтонной стационарной громады.

Особый интерес вызывает бурение в высоких арктических широтах океана. Отличительная особенность такого бурения — постоянная ледовая опасность для буровых платформ. Если арктическое море постоянно или, по крайней мере, значительно время года покрыто льдом, то сооружение металлического острова — главная строительная трудность. С другой стороны, в открытом море со свободной водой поверхностью всегда вероятно появление плавающих ледяных глыб-айсбергов. Против их защиты нет и, прежде чем строить, приходится заранее и тщательно изучать направления течений и ветров. Для трех осевых морских зон — мелководья, открытой воды и ледяных полей — прилагаются различные технические решения.

Против отдельных плавающих льдин еще можно найти средства борьбы. Попытки как-то застраховатьсь от таких льдин привели к созданию специальных гидравлических нагнетателей. Сильной водяной струей они держат лед на некотором удалении от буровой вышки. Конечно, такое решение не может считаться панацеей от всех бед. Существуют и другие проекты, но реализация подавляющего большинства их связана с большими затратами. Судьба таких проектов пока одинакова: все они лежат на полках до поры до

времени. Например, в одном из проектов предусматривается постоянная приписка ледокола на все время сооружения скважины. Если скважина разведочная, то такое решение экономически еще оправдано, но для эксплуатационной скважины, дающей нефть и работающей годами, ледокольное решение неприемлемо.

Наиболее простым решением вопроса бурения скважин на площадях со сплошными ледяными полями считается установка бурового оборудования прямо на льду. При толщине льда 3 м и более надежность ледяного основания оказывается достаточной на длительное время. Она может быть повышена искусственным намерзанием дополнительного слоя льда вплоть до промерзания на мелководье слоя воды до океанского дна.

Недавно в Канадской Арктике на одном из океанских газовых месторождений была пробурена скважина с помощью обычной установки для бурения на суше. Скважину пробурили со льда. Толщина его в обычных условиях составляла 2,4 м. Надежность такого основания была признана недостаточной. Наращивание льда выполнялось искусственно морской водой, нагнетаемой насосами из пробуренных во льду скважин. Вода разбрзгивалась по кругу диаметром 120 м. Хорошее промерзание новых слоев льда было обеспечено тем, что ежедневно наращивали не более 75 мм ледяного покрова. Таким путем мощность ледяного острова в центре площадки была доведена до 5 м.

Под массой бурового оборудования и намороженной воды основной слой льда несколько прогнулся, но вполне выдержал нагрузку до конца бурения скважины. Буровое оборудование устанавливалось на изоляционную подушку из слоев полиэтиленовой пленки и пенопласта.

Как бы ни была дешева ледяная платформа, она имеет один существенный недостаток: сезонность работы в самое холодное время года, когда льды неподвижны. Ограничена масса буровой установки, а стало быть, и глубина скважины. Недавно опубликован проект самоходной полупогруженной буровой установки для высок широтных условий работы. Она отличается роторным ледорезом, представляющим собою многозаходный винтовой шнек диаметром несколько метров. Шнек бурит мощные льды толщиной до 17 м, открывает доступ буровому инструменту ко дну моря и соединяет буровую платформу с ее погружной частью.

Специалисты считают, что для такой установки сезонные изменения ледовой обстановки не будут страшны на протяжении всего календарного года.

Морское бурение применяется не только для добычи нефти или газа, но и в целях разведки дна на твердые полезные ископа

ляемые. Человек-исследователь и геолог вместе с буровой установкой как в прошлом, так и в наше время все более настойчиво исследует дно рек, озер, болот, морей и океанов. Эта настойчивость проявляется не только в том, что увеличиваются глубины вод и буровые станки становятся все более тяжелыми и механизированными. Бурение перемещается на дно моря в буквальном смысле: буровые становятся подводными, чаще всего полностью автоматизированными. Такой подход обусловлен тем, что возможности работы обслуживающего персонала под водой ограничены требованиями безопасности людей.

Самостоятельной отраслью бурения стало исследование морских грунтов перед началом строительства морских буровых платформ. Без надежной оценки несущей способности грунта ни один подрядчик в наше время не рискнет начать монтаж дорогостоящего стального строва.

Основная цель такого бурения заключается в том, чтобы поднять со дна моря колонки-образцы грунтов для их натурных испытаний в лабораторных условиях. Применяются конические и лопастные penetрометры, оснащенные пьезометрами, датчиками для измерения силы трения и угла наклона penetрометра, и многое другое. В Нидерландах сконструирован интересный пробоотборник, имеющий нейлоновый гибкий рукав для защиты грунта от размывания водой и выпадения из трубки. Рукав может иметь длину до 27 м и подниматься на поверхность с помощью троса. Трос протянут внутри керноподъемных труб.

Сравнение этой конструкции с уже описанным ранее грунтосом АМС «Луна-24» позволяет найти немало общих конструктивных черт и решений.

Стратегия подводных исследований значительно чаще, чем представляют себе, копирует космическую технику, где в последнее время все большее предпочтение отдается автоматам, а не высадке людей на поверхность космических тел. Даже внешне морские буровые установки повторяют отдельные решения космической техники. Выше был помещен рисунок французской полупогружной буровой платформы. Не требуется большого воображения, чтобы увидеть в ней элементы длительной космической станции, проекты которой нередко помещаются на страницах периодической печати.

На рис. 51 показан буровой станок Лиото, где влияние космических мотивов особенно заметно. Проект французского изобретателя Лиото почти копирует инешище американский космический корабль «Сервейор», побывавший на Луне и в первых своих вариантах имевший автоматическую буровую установку. Особую схожесть конструкций создают опоры станка, складывающиеся при спуске

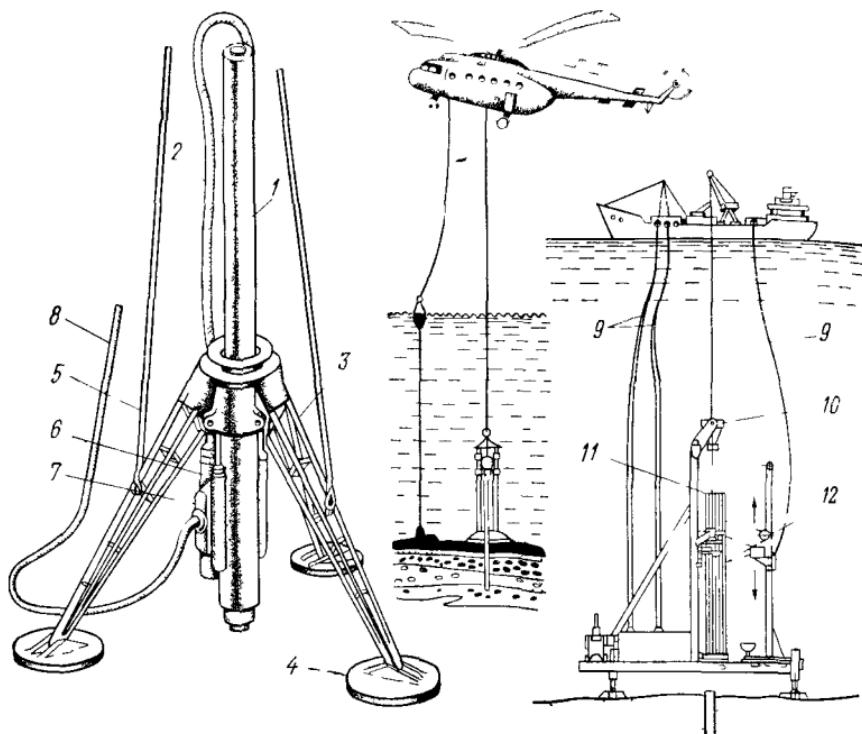


Рис. 51. Подводный буровой станок Лиото:

1 — корпус; 2 — шланг гидросистемы станка, 3 — опоры, 4 — башмаки, 5 — растяжки, 6 — насос гидросистемы, 7 — вентильное устройство, 8 — электрокабель. Справа — взятие проб донного грунта подводным бурением с вертолета и подводная буровая установка фирмы «Вирт» (ФРГ): 9 — кабели, 10 — направляющая воронка; 11 — магазин с бурильными трубами; 12 — прожектор и передвижная телекамера

вдоль корпуса. После установки станка на морском дне приступают к очистке верхнего слоя рыхлых пород струей воды, подаваемой насосом гидросистемы. Корпус станка — вращатель опускается вниз, и после улора в твердые породы в работу включается ведущая бурильная труба с алмазной коронкой. Вращение создается гидромотором, а подача — поршневой системой.

По-видимому, влияние космических конструкций на технику морских исследований заключается не столько в простом внешнем копировании, сколько в общности необычных, экстремальных условий работы, заставляющих конструкторов искать неординарные пути решения прочностных, весовых и других аналогичных проблем.

Глядя на станок Лиото, так и хочется опустить его на аэростате для бурения на поверхности Венеры, где атмосферное давление, как в глубоком море, а о температурах и говорить страшно ($\approx 500^{\circ}\text{C}$).

Спуск станка на тросе в условиях Земли был реально смоделирован в СССР еще в 1971 г. С помощью вертолета малогабаритный буровой станок на кабель-тросе спускался на дно моря. Вертолет зависал над водной поверхностью. Место бурения фиксировалось по бую. Он сбрасывался с вертолета и служил летчику хорошим ориентиром. Глубина скважин могла достигать 5–6 м.

Для более сложных условий бурения спроектированы автоматизированные буровые установки в водолазных колоколах и подводных лодках, где размещается оборудование и персонал.

Существует подводная буровая лодка с высокоавтоматизированным буровым устройством. Все операции по спуску и подъему труб, их соединению, укладке и отводу от оси скважины выполняются механическими автоматами. Они содержат гидроцилиндры подачи и вращателя, клиновые захваты для труб, поворотные устройства и труборазвороты, каретки продольного и поперечного перемещения труб по отсекам лодки.

Электроэнергия и воздух подаются в лодку с поверхности по кабелю и шлангам, а необходимые материалы и инструмент — в специальных контейнерах.

Интересна конструкция сложной подводной буровой установки, предложенной фирмой «Вирт» (ФРГ). Она может работать на полностью автоматическом режиме без участия людей и при глубинах моря до 200 м. Все операции по бурению и спуско-подъемам долота наблюдаются через телевизионный тракт, включающий передвижную телевизионную камеру, прожекторный осветитель и кабель связи с надводным кораблем.

ПОЛЬЗА И ВРЕД ВИБРАЦИИ

Высокие скорости современных машин — одна из отличительных особенностей техники нашего века. Везде старания инженеров направлены на увеличение скоростей передвижения, резания и частоты вращения таким образом, чтобы новая машина или инструмент были эффективнее прежних. Только в этом случае можно рассчитывать на эффективность новой техники и на непрерывное повышение производительности труда.

Обычно при освоении высоких скоростей в любой отрасли всегда приходится преодолевать разного рода технические трудности: звуковой и тепловой барьеры в реактивной авиации, вибрации в машинах, нагрев и вибрацию резца при точении металлов, кавитации в турбинах.

нах, повышенный износ материалов, жесткие ограничения массы космических конструкций и т. п.

Преодоление любого из этих барьеров рождало в технике новые машины и материалы, немыслимые ранее направления в науке, необычные конструктивные решения. Достаточно упомянуть появление стреловидного крыла на самолете, победное шествие турбин вместо поршневых машин, создание виброустойчивых резцов в машиностроении и многое другое.

Вместе с тем история науки учит, что любому физическому явлению, как бы оно ни препятствовало вначале развитию техники, можно всегда найти полезное применение. Так случилось, например, с вибрацией, кавитацией, гидравлическим ударом и т. д. Существует вибрационная обработка металлов и вибропробурение; гидравлический удар не только разрушает трубопроводы и задвижки, но и производит полезную работу во многих механизмах; кавитация, разрушающая винты турбо- и гидромашин, может быть применена для обработки металлов и разрушения горных пород.

Вибрационные движения способны управлять, казалось бы, взаимно исключающими технологическими операциями — тонким разделением сыпучих материалов и их смешиванием, уплотнением и разрыхлением грунта и др.

В бурении наряду с полезными применениями вибрации технология бурения страдает от их вредного, порой коварного эффекта. Но сначала о пользе этого явления.

ПОЛЕЗНЫЕ ВИБРАЦИИ. Бурение скважины по мере продвижения долота сопровождается спуском колонны бурильных труб во вновь пробуренную часть ствола. Сила трения бурильных труб о стенки скважины такова, что значительная часть необходимой нагрузки на долото теряется на преодоление трения, особенно при турбинном бурении. При этом способе бурильные трубы не врачаются. Здесь вибрация, постоянно сопровождающая процесс бурения, приносит положительный эффект. Она снижает трение труб о стенки скважины, меняя сам характер трения.

Бурение различных горных пород по твердости дает различные вибрации инструмента по спектрам частот и амплитудам колебаний. Такая особенность колебательного процесса может быть использована для оценки твердости буримых горных пород, особенно перемежающихся по твердости и трещиноватости. Все эти косвенные данные облегчают управление процессом бурения.

Например, при разведке угольных месторождений встреча буровой коронкой угольного пласта, несравненно более мягкого, чем окружающие горные породы, легко фиксируется специальным анализатором, дающим бурильщику необходимую команду. Получив ее,

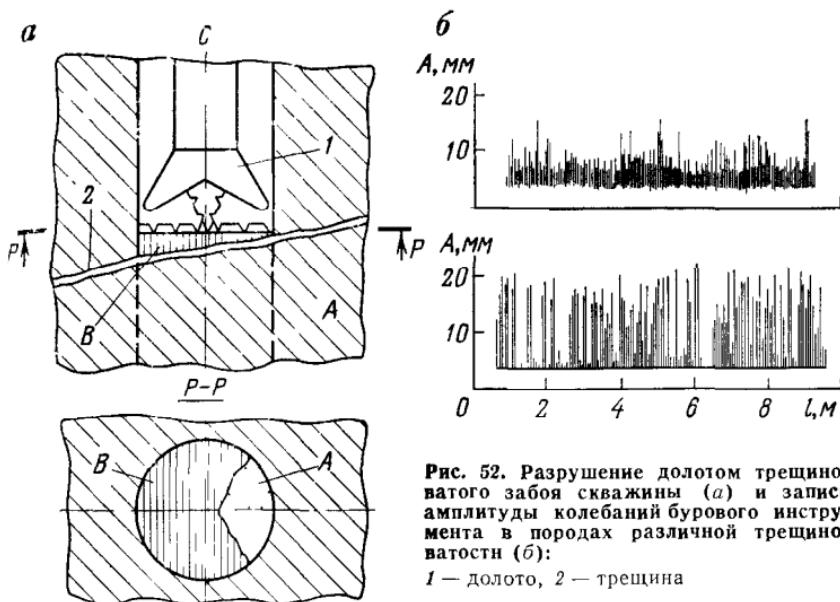


Рис. 52. Разрушение долотом трещиноватого забоя скважины (а) и запись амплитуды колебаний бурового инструмента в породах различной трещиноватости (б):

1 — долото, 2 — трещина

буровой мастер с большей осторожностью и тщательностью ведет дальнейшее бурение. Он заинтересован в хорошем выходе керна угольного пласта — главного документа геолога.

В некоторых условиях, например при бурении взрывных скважин на карьерах, весьма важно заранее оценить трещиноватость горных пород. Она влияет на крупность кусков взорванной массы и определяет способ уборки породы и вид техники для этой цели. Оказывается, уже при бурении скважины по колебаниям бурового инструмента можно дать оценку трещиноватости.

На рис. 52 показано разрушение долотом трещиноватого забоя скважины и амплитуда колебаний бурового инструмента. Схема возникновения низкочастотных колебаний долота при бурении трещиноватого массива дана по Т. А. Дозорову. Когда долото приблизится к наклонной трещине, в зоне А, наиболее приближенной к трещине, происходит выкол породы. Поверхность забоя становится неровной, стационарный режим разрушения породы нарушается, и возникают вертикальные колебания инструмента до тех пор, пока забой не выровняется. Чем больше трещин за единицу времени встретит долото, тем выше будет частота колебаний, пропорциональная трещиноватости. Этот процесс может быть четко зафиксирован (рис. 52, б).

Вибрация помогает измерениям. Интенсивность разрушения горной породы зависит от величины внесенной нагрузки и скорости ее приложения. Поэтому интенсификация этих процессов — основное

направление повышения производительности. Конечно, развитие техники бурения скважин не осталось в стороне от общего развития техники и всегда было подчинено повышению механических и рейсовских скоростей бурения. Но чтобы эти скорости постоянно росли, необходим непрерывный анализ технологических данных, канал для их передачи с забоя скважины на поверхность, выбор оптимальных параметров бурения на основе выполненного анализа.

Полнота и качество информации о работе всех элементов бурильного инструмента в дискретные моменты времени — вот в чем постоянно нуждается бурильщик. В первую очередь необходима информация о работе долота на забое скважины.

Современное бурение на нефть ведется в основном трехшарошечными долотами. Трехшарошечное долото, изобретенное более 50 лет назад как инструмент, создающий динамическую нагрузку на горную породу забоя скважины, кроме своего основного назначения — бурения в горном массиве, еще способно служить источником информации о забойном процессе. Информация передается на устье скважины в виде упругих колебаний по колонне бурильных труб. Вибрация здесь — снова полезный процесс.

Любой промышленный процесс, связанный с вращением какого-либо рабочего органа, в обязательном порядке предполагает контроль частоты вращения. Бурение скважин является единственным крупным технологическим процессом, при котором оператор, находящийся на значительном удалении от рабочего инструмента, не имеет с ним связи, плохо его контролирует и управляет. Вот почему контроль частоты вращения бурильного инструмента на забое скважины совершенно необходим. Он возможен в результате исследований динамики турбобура или самого долота. Специалистам по бурению известно, что опытные бурильщики не без успеха контролируют работу турбобура на ощупь (реже — стетоскопом) по звуковым колебаниям ведущей бурильной трубы. Попытки использовать этот практический прием на строго научной основе с применением электронной аппаратуры позволили создать акустическую систему связи с забоем скважины, представляющую собой совокупность источника информации колебательной природы — передатчика (долота), линии связи (бурильных труб или толщ горных пород) и приемного устройства на устье скважины (датчика, анализатора, указывающего или регистрирующего прибора).

Замер частоты вращения долота стал возможен на основе анализа спектра частот продольных колебаний. Грубая, но с достаточной для практики точностью индикация частот вращения и работы долота может быть осуществлена на принципе измерения средней частоты.

Корреляция амплитуды и частоты колебаний со степенью износа долота позволяет, кроме всего прочего, судить об износе его вооружения в течение рейса, исследовать вопрос о числе одновременно участвующих в разрушении горной породы шарошек долота, их скольжении по забою и т. п.

В исследовательских целях всегда желательно иметь неискаженные данные о работе долота, полученные непосредственно на забое скважины и записанные в реальных неизмененных масштабах времени и перемещений. Наиболее достоверные сведения получаются в том случае, когда приборы, в нашем случае — вибрографы, устанавливаются над долотом. Для простоты приборы делают автономными. На рис. 53 даны автономные вибрографы. Интерпретация забойных виброграмм дает очень ценную информацию о работе бурового инструмента. Скважинная виброметрия — очень перспективное направление современных исследований при бурении.

Отрицательные вибрации. Все перечисленные примеры характеризуют вибрацию, неизбежно возникающую при бурении, с технологически полезной стороны. Однако ее всегда при бурении вибрация желательна, а в отдельных случаях приходится искать способы борьбы с нею. Снова остановимся на отдельных примерах.

Отрицательные последствия вибрации бурового инструмента в скважине хорошо известны каждому буровику. В общих чертах они сводятся к преждевременному износу вооружения долота и опор его шарошек, а при бурении алмазными долотами — к сколам алмазных зерен. При вибрациях быстрее срабатываются детали гурбобура, наблюдаются поломки бурильных труб, ухудшаются условия образования керна горных пород в геологоразведочном бурении.

Все виды колебаний бурильной колонны, которые условно подразделяются на продольные, поперечные и крутильные, поддерживаются поступающей извне энергией. Она тратится впустую, а к п.д. буровой установки снижается.

Этими примерами можно закончить далеко не полный перечень нежелательных последствий вибрации. Сразу же возникает вопрос — как с ней бороться? Что техника бурения противопоставила вибрациям?

Виброзащита бурильной колонны. Она строится на обычных, принятых в технике принципах. Прежде всего стараются применить амортизаторы, которые, как в автомобилях, конструируются таким образом, чтобы частота внешних вынужденных колебаний не совпадала с частотой собственных колебаний системы. В этом случае удается избежать резонанса — наиболее опасного режима вибрации. Второй путь предполагает гашение колебаний за счет их рассеива-

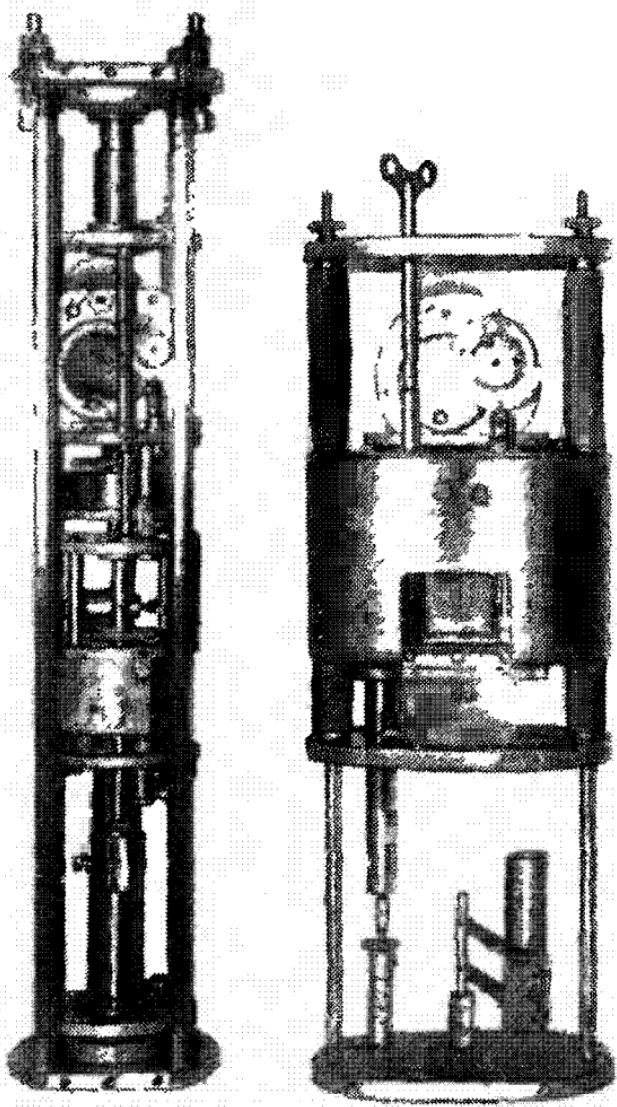


Рис. 53. Автономные вибрографы для работы в скважине (контейнеры сяи-т)

ния в специальных материалах, обладающих большим коэффициентом внутреннего трения. Чаще всего используют комбинацию перечисленных возможностей гашения. Например, в автомобиле наряду с пружинными амортизаторами установлены гидравлические.

Для скважинных условий бурения к настоящему времени создано множество конструкций виброгасителей как у нас, так и за рубежом. Любой из них имеет два элемента, которые могут перемещаться относительно друг друга — чаще всего телескопически — и разделены упругой виброгасящей вставкой из тарельчатых, винтовых, кольцевых или другого типа пружин.

Упругий элемент воспринимает статическое усилие и потому рассчитывается на высокое напряжение. Одновременно жесткость его не должна быть чрезмерно высокой, иначе гашение динамических нагрузок не будет достигнуто. Увязка столь противоречивых двух условий в одной конструкции — дело сложное и целиком зависит от искусства конструктора. Вот почему существует столь большое количество предложений и изобретений по виброгасителям.

Для примера на рис. 54 показан пластинчатый амортизатор, предложенный автором, упругий элемент которого состоит из набора металлических гофрированных колец, все пространство между которыми заполнено очень вязкой жидкостью. При сжатии в тонком слое жидкости возникают огромные гидродинамические сопротивления, препятствующие растеканию жидкости. Жидкость работает как упругая подушка. Поскольку таких слоев много, общее перемещение амортизирующего элемента достаточно большое.

Гофр на кольцах заменяет кулачковое или шлицевое устройство, необходимое для передачи вращения от колонны бурильных труб или реактивного момента от турбобура.

При бурении в очень твердых породах опора шарошек долота — наиболее слабая часть конструкции — изнашивается медленнее, чем вооружение долота, его зубья. В итоге отработка долот становится более рациональной и долото находится на забое больше, чем при работе без амортизирующего устройства. Только за счет снижения времени на спуско-подъемные операции полнотью окупаются затраты на виброгаситель. Конструкция долот с каждым годом все более усложняется. Так, появились дорогие долота с так называемой герметизированной опорой. Сочетание таких долот с амортизаторами здесь особенно необходимо.

Среди множества причин вибраций при бурении трехшарошечными долотами выделяется одна, наиболее важная: плоскости забоя скважины и рабочей поверхности долота непараллельны. Долото вырабатывает зубообразную поверхность качения и рабо-

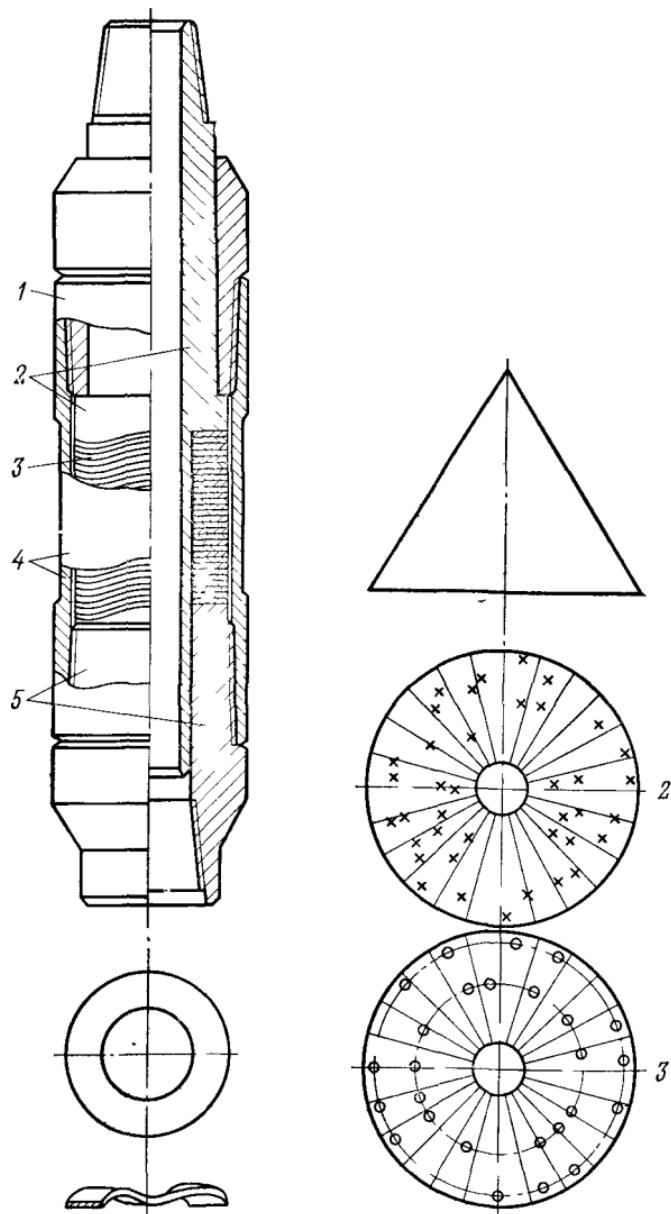


Рис. 54. Пластинчатый амортизатор, заполненный высоковязкой жидкостью:
1, 5 — верхняя и нижняя муфты, 2 — шток; 3 — рифленые пластины, 4 — корпус

Рис. 55. Случайное расположение зубьев шарошки долота:
1 — шарошка (профиль); 2 — расчетные координаты; 3 — координаты зубьев
при фиксированном радиусе

тает подобно кулачку, совершающему вертикальные перемещения при вращении колонны труб.

Можно сгладить поверхность забоя, для чего достаточно расположить зубья шарошек не симметрично, как в серийных конструкциях, а в случайном порядке. Координаты зубьев рассчитываются известным методом Монте-Карло. На рис. 55 схематически показана конусная шарошка и ее проекция на тыльную поверхность. Координаты зубьев в таком изображении определяются радиусом шарошки и углом на окружности. Известными расчетами с использованием таблиц случайных чисел были получены необходимые данные. На рис. 55 места расположения зубьев показаны крестиками.

Испытания новинки в условиях Азербайджана показали увеличение проходки на долото, что можно объяснить снижением динамического характера работы инструмента. Нерешенные задачи. Все известные средства виброзащиты обладают одним общим недостатком: их характеристика, однажды выбранная конструктором, при работе амортизатора в скважине остается постоянной или изменяется в очень узких пределах. Другими словами, при весьма широком спектре вынужденных колебаний при бурении виброгаситель выбирает лишь тот узкий участок, на который он заранее настроен. Автоматическое наблюдение за жесткостью виброгасителя, за изменением частоты колебания существующей конструкцией не предусматривается и управлять вибрацией пока невозможно.

Проще всего синхронизацию этих показателей можно получить при использовании динамических поглотителей колебаний, например гирокопических. Они строятся таким образом, чтобы антирезонансная частота, создаваемая поглотителем, совпадала с частотой возмущения. Для бурильных труб, источником вибрации которых является их вращение, гирокопический поглотитель должен быть сконструирован таким образом, чтобы характеристика поглотителя зависела от частоты вращения источника возмущения. Иначе говоря, вращение одновременно должно быть и гасителем вибраций.

Задача эта не простая и до сих пор не решена.

Пока же проблема решается конструкторами обходным путем. Например, конструирование виброгасителей на основе линейной теории колебаний в настоящее время считается бесперспективным вследствие имеющихся в теории противоречий, устранение которых невозможно. Так, линейная характеристика реальных виброгасителей имеет весьма ограниченную область. Это приводит к тому, что конструктивно виброгасители должны иметь ограничители хода. Область применения виброгасителей снижается, и часто не удается в одной и той же конструкции совместить углы гашения вибраций и узлы передачи нагрузки на долото.

Выходом из положения следует считать использование методов нелинейной теории виброзащитных систем, при которой влияние упругих или жестких ограничителей перемещения демпфирующего узла учитывается расчетом. Амплитуда деформации виброгасителя, рассчитанная по линейной теории, может отличаться в десятки раз от осадки деформирующего элемента, вычисленной с учетом методики расчета нелинейного виброгасителя.

Представляет интерес стохастический подход к расчету виброгасителя, при котором вибрационные воздействия будут носить случайный характер, поскольку большинство факторов, определяющих вибрацию, не детерминированы. В этом случае перемещения бурильных труб следует рассматривать случайными.

К сожалению, конструирование виброгасителей при случайной вибрации затрудняется тем, что частота вибрации также случайна. Кроме того, по мере осадки демпфирующего элемента собственная частота конструкции меняется. Установка набора виброгасителей различной жесткости в скважине невозможна. Поэтому выходом из положения следует считать применение так называемых равночастотных виброгасителей, жесткость которых при изменении нагрузки автоматически меняется таким образом, что собственная частота колебаний демпфера остается постоянной. Это достигается тем, что отношение коэффициента упругости к массе колеблющейся колонны труб остается неизменным, а закон изменения упругости демпфирующего звена строится в экспоненциальном виде.

Примером равночастотных виброгасителей могут служить рессоры для автомобилей из набора плоских пластин различной длины. Для реальных виброгасителей в условиях скважины следует подбирать демпфирующие элементы (например, резиновые кольца) так, чтобы жесткость их постепенно увеличивалась по высоте набора. Одно из преимуществ равночастотных виброгасителей состоит в том, что отпадает точный подбор жесткости демпфирующего элемента, отдельно взятого устройства среди серийной партии, выпущенной заводом.

«ПОСРЕДСТВОМ ЖАРА»

Просматривая как-то подшивку «Горного журнала» за 1862 г., я обнаружил небольшую заметку под названием «Проведение буровых скважин посредством жара», перепечатанную из немецкого журнала. Трудно удержаться, чтобы не привести документ более чем столетней давности.

— «Известно, что в горных породах, в которых главная составная часть есть кварц, весьма трудно проводить буровые скважины, потому что бур с трудом подвигается в них и весьма скоро сбивается. Однако, эти породы имеют то отличительное свойство, что когда в них небольшое местечко внезапно подвергнуть сильному жару, то отделяется с треском множество тонких листочек. Пользуясь этим свойством, удалось посредством паяльной трубы, действующей гремучим газом, провести в самом твердом кварцевом камне цилиндрическую буровую скважину, глубиною в 6 сантиметров, менее чем в 5 минут.

При одном опыте вместо гремучего газа употреблялась смесь водорода с воздухом, и действие оказалось гораздо более медленным, так что, возможно, сильный жар составляет здесь главное условие. Француз Дебре, которому принадлежит эта мысль, предлагает употребить этот способ при работах в туннеле под Моисеевым Сенисом, который должен пройти через многие кварцевые породы. Для гранита понадобится только весьма умеренный жар, так как эта порода, будучи постепенно накалена до светло-красного каления и потом медленно охлаждена, до такой степени теряет сцепление частей, что от давления руки обращается в порошок».

Нельзя сказать, что эта заметка — первое упоминание о бурении с помощью нагрева. Она лишь подтверждает инициативу наших предшественников, горных инженеров прошлого века, в поисках новых путей разрушения горных пород при бурении скважин.

Возможность разрушения горных пород нагревом или нагревом с последующим резким охлаждением была известна еще древнему человеку. Разжигая костер на крупных камнях, а затем заливая его водою, он наблюдал растрескивание крупных каменных глыб, расколоть которые не удавалось даже сильнейшим ударом. Прием, найденный случайно, уже никогда не был забыт человечеством. Он использовался строителями Древнего Египта и Рима, горняками средневековья. По опубликованным данным, первый термобур был запатентован в США еще в 1853 г.

И по сей день так называемые взрывные скважины на карьерах нередко проходят весьма необычным, так называемым огневым способом бурения. Проще говоря, скважины прожигаются точно так же, как многие из нас в детстве использовали раскаленный гвоздь для получения сквозного отверстия в очередной модели из дерева «сверхсовременного пистолета».

Существует множество способов теплового воздействия на горную породу в скважине. Обратите внимание на перечень опубликованных или запатентованных изобретений или конструкций: электрическая дуга; электрический нагреватель; атомный, плазменный и

электронно-лучевой буровой снаряд; снаряды форсированного горения, высокочастотные, индукционного нагрева, огнеструйные, микроволновые, циклические тепловые и т. д. Добавьте сюда еще конструкции, использующие термомеханические, т. е. комбинированные методы, и перечень возрастет втрое.

Лазерное бурение Сначала речь пойдет о бурении с помощью лазера. Не останавливаясь на физической сущности его работы и полагая, что она известна современному молодому человеку, достаточно пытливому и следящему за всем тем новым, чем богата мировая наука последних двух-трех десятилетий, сразу рассмотрим процесс взаимодействия лазерного излучения и горной породы.

Механизм разрушения горной породы лазерным лучом необычен, весьма разнообразен и зависит от плотности энергии импульса. При небольшой плотности поглощенное оптическое излучение вызывает нагрев породы и разрушение ее плавлением.

По лабораторным данным, лазерное излучение создает на забое скважины весьма большой всплеск температурного градиента: от 1100°C на поверхности разрушающей горной породы до 75°C всего лишь на глубине 2,2 мм от нее. В таких условиях в горной породе возникают значительные касательные напряжения, происходит шелушение и термический скол.

Совсем иначе реагирует порода на воздействие мощного лазерного луча. Разрушение напоминает электрический пробой диэлектрика: после появления узкого канала пробоя возникает ударная волна. Порода испаряется, происходит взрывное выделение газов. В зависимости от оптических свойств разрушающей породы взрывной канал заканчивается расширенной полостью, а в прозрачном кварце — длинным узким конусом. На рис. 56 показано взаимодействие сфокусированного лазерного луча с горной породой и схемы лазерных буровых снарядов.

Лазерный буровой инструмент не имеет механического контакта с горной породой и поэтому его износостойкость теоретически не ограничена. В этом состоит одно из главных преимуществ лазерного бурения. Оно заставляет изобретателей искать пути конструктивного оформления лазерного бура. По одному из них лазер устанавливается в нижней части бурильной колонны (рис. 56). Энергия подается от генератора, который находится в трубах внизу и вращается потоком промывочной жидкости через гидравлическую турбину.

Существующие мощности лазеров пока недостаточны для разрушения массива горной породы на всей площади забоя скважины. Поэтому конструкторы ищут обходные дороги. Так, для бурения взрывных скважин предложено лазерное устройство, в котором роль

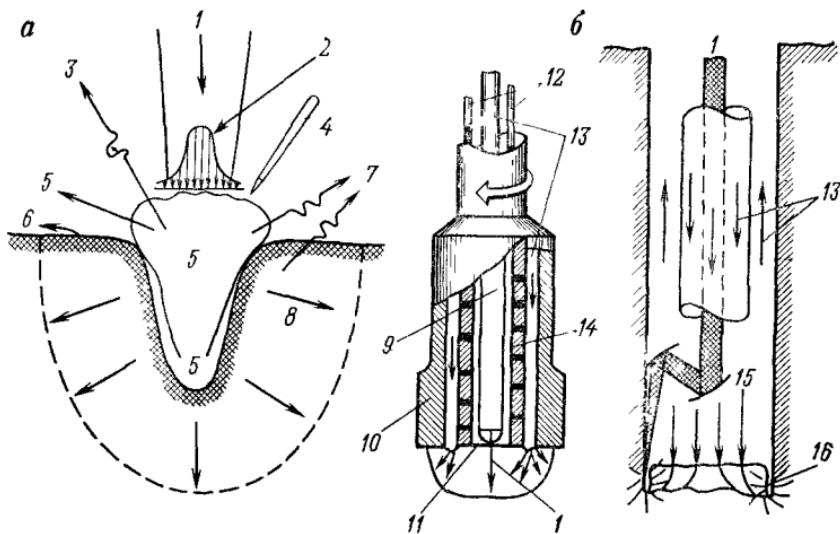


Рис. 56. Взаимодействие сфокусированного лазерного луча с горной породой (а) и схемы лазерных буровых снарядов (б):

1 — лазерный луч, 2 — распределение интенсивности луча; 3 — отраженная энергия, 4 — струя газов, 5 — удаляемые пары и расплавленная порода, 6, 7 — потери тепла конвекцией и излучением, 8 — зона нагрева; 9 — кристаллический или газовый лазер, 10 — расширитель, 11 — линза; 12 — кабели, 13 — промывочная жидкость или газ, 14 — отражающая поверхность, 15 — нагрузка на долото, 16 — периферийная канавка, прорезанная лазерным лучом

лазерного луча сводится лишь к подрезанию периферийной канавки по окружности скважины. Центральная часть забоя, ослабленная трещинообразованием за счет термических напряжений, разрушается обычным механическим инструментом. В других конструкциях периферийная часть скважины разрушается серией сфокусированных лучей, испускаемых лазерами, симметрично расположенным относительно продольной оси ствола.

Комбинированное лазерно-механическое бурение более производительно, чем обычное. Снижается износ долота, так как разрушение центральной части забоя скважины требуются значительно меньшие усилия.

Лазерное бурение шпуров или скважин глубиной несколько метров возможно вообще без помещения в скважину оптической системы. Продукты разрушения горной породы удаляются продувкой воздухом, что сохраняет оптическую прозрачность среды в призабойной зоне.

Другим весьма существенным достоинством лазерного метода разрушения следует считать возможность работы бура без теплоносителя. Не случайно американские исследователи при подготовке

операций по отбору проб на поверхности Луны в проекте «Аполлон» первоначально предполагали оснастить космонавтов лазерным буровым устройством. В условиях лунного вакуума термобурение без теплоносителяказалось идеальным решением проблемы. И только необходимость в образцах горных пород, неискаженных тепловым нагревом, заставила отказаться от бурения лазерным способом.

Для лазерного бурения твердость горной породы не имеет какого-либо существенного значения (решающее отличие от всех механических способов бурения). Зато приходится считаться с тугоплавкостью отдельных горных пород или минеральных включений, например графита, молибдена, асбеста и др. Кстати, все эти минералы обладают весьма низкой микротвердостью и для обычного бурения считаются легкобурымыми породами.

Плавление породы возможно и другими способами. В США опубликован проект бурового устройства с встроенным миниатюрным атомным реактором диаметром всего около 400 мм. Конструкция рассчитана на плавление породы при температуре 1250—1500 К. Стенки скважины после плавления приобретают прочность стекла, что избавляет технологический процесс бурения от крепления ствола металлическими трубами, а также от применения в необходимых случаях утяжеленного бурового раствора.

Несомненные преимущества имеют решавшее значение в будущем сверхглубоком бурении. Так, Лос-Аламосская научная лаборатория в США, специализирующаяся на тепловом бурении, под сверхглубокими или очень глубокими скважинами понимает глубины до 160 км (!). При обычном бурении такие глубины недостижимы по многим причинам, в том числе из-за высоких температур. При термобурении повышенные температуры лишь облегчают технологический процесс.

Расплавить породу в принципе нетрудно, но при этом необходимо сохранить долого, точка плавления материала которого примерно такая же или ниже, чем у горной породы. Как в одной конструкции совместить два, казалось бы, противоположных и несовместимых требования?

Надо было создать долото, которое расплавляло бы вокруг себя все, а сам охраняло первоначальную форму и прочность. Решение искали в тугоплавких металлах типа молибдена и вольфрама. Рабочие поверхности покрывались иридием. Кроме того, была создана остроумная система волнистого охлаждения в сочетании со стеклографитовой изоляцией. При бурении избыток расплавленной породы поступал за пределы теплоизоляционного экрана, где циркулировала охлаждающая жидкость или газ. Охлажденные стеклообразные куски породы выносились из призабойной зоны. В^о избежание

окисления внутренние полости долота заполнялись инертным газом.

По заявлению конструкторов упомянутой лаборатории, такое долото способно непрерывно работать без подъема на поверхность многие месяцы.

Тепловые трубы. Известен еще один путь теплоотвода от рабочего термобурового органа. В 1942 г. инженер Ричард Гоглер начал поиски более эффективных средств теплопередачи. Уже тогда новые технологические процессы, характерные для современной техники, в том числе буровой, потребовали передачи огромных тепловых потоков. Старые и проверенные средства — теплоотводы из серебра и меди — оказались не только бессильными, но и стали тормозить развитие техники: конструкции теплоотводов по размерам превышали саму машину. Теплотехников выручили так называемые тепловые трубы (ТТ), на которые Ричард Гоглер и получил патент в военные годы.

Трубы находят применение в электроинжиниринге, в тепловых двигателях. Оценена их высокая перспективность и в бурении для охлаждения буровых долот. К числу задач, связанных с отводом тепла при бурении скважин с помощью тепловых труб, можно отнести, кроме охлаждения породоразрушающих инструментов, передачу тепла от тормозного шкива буровой лебедки, замораживание устья скважины при ее строительстве в районах вечной мерзлоты и др.

Простейшая ТТ — заглушка с обоих концов трубка, внутренняя поверхность которой выстлана пористой структурой (фитилем), например мелкой сеткой, насыщенной теплоносителем. Роль теплоносителя выполняют натрий, калий, ртуть, вода и др. На рис. 57 показана тепловая труба и ее установка в матрице алмазного долота. Труба не имеет каких-либо подвижных механических систем, проста, надежна и дешева, способна работать без участия силы тяжести и может переносить большие тепловые потоки при незначительных собственных размерах.

Тепловые трубы представляют собой герметизированную конструкцию длиной до 1,8 м, в которой жидкий теплоноситель перемещается в вакууме под действием сил поверхностного натяжения по капиллярным каналам наполнителя трубы-фитиля, отбирает тепло в зоне испарения трубы и отдает тепло в зоне конденсации паровой фазы.

Ряд положительных качеств тепловых труб делает возможным использование их для охлаждения алмазных и твердосплавных коронок при обычном бурении, например, в качестве противоаварийной профилактической меры для предотвращения прижога коронок, при бурении с продувкой и особенно при бениасосном разведочном бурении в условиях вакуума и т. п.

В Тюменском индустриальном институте предложены несколько необычных тепловых труб, называемая бурильной (БТТ), поскольку она предназначена для работы в особых условиях: труба коаксиальная, а подвод тепла, в отличие от классического случая, осуществляется с торцевой части трубы.

Тепловые трубы могут быть встроены в породоразрушающий инструмент, либо в нем предусматриваются каналы для размещения фитиля и теплоносителя.

При бурении скважины тепловые трубы должны отвечать как общим, так и специфическим, применительно к бурению, требованиям. Общее требование — отвод необходимого количества тепла из зоны нагрева, что определяется мощностью тепловой трубы, зависящей от конструкции и выбора типа теплоносителя. Полезно применение ультразвукового капиллярного эффекта, в 40—50 раз увеличивающего скорость дрижения жидкости по капиллярам.

Известны конструкции бесфитильных тепловых труб, так называемых гладкостенных, с оптимальным заполнением, которые исключительно просты по устройству и дешевы. Не имея ограничений, связанных с пропускной способностью фитиля, гладкостенные трубы особенно перспективны для сверхглубокого бурения.

Отводить тепло от буровой коронки можно при помощи тепловых труб, являющихся одновременно бурильными. В этом случае бурильная труба будет представлять собой две коаксиально расположенные

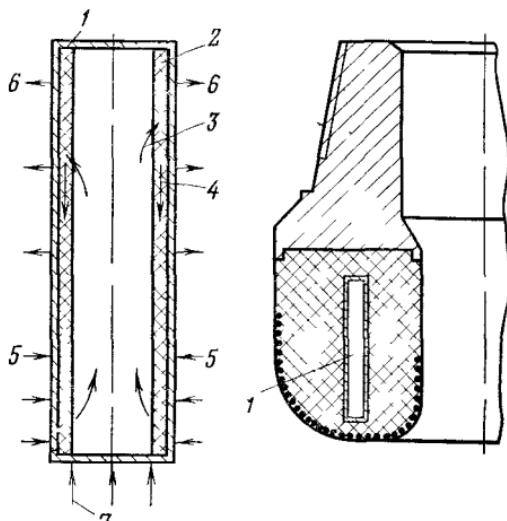


Рис. 57 Тепловая труба и ее установка в матрице алмазного долота.
1 — корпус трубы 2 — фитиль 3 — пар 4 — обратное движение конденсата по капиллярам, 5 7 — подвод тепла с боков и торца, 6 — охлаждение

ложенные трубы, в межтрубном пространстве которых встроены фильтр и оставлено необходимое пространство для паровой фазы теплоносителя.

Если замена коронок при бурении скважины не предусмотрена, система коронка — тепловая труба конструктивно может быть выполнена в виде единой системы, что улучшит теплопередачу. В случае использования сменных коронок, а также при удлинении тепловых труб путем последовательного их соединения тепловое сопротивление труб можно уменьшить за счет введения в конструкцию перехода от коронки к трубе и от трубы к трубе специального уплотняемого объема, заполненного жидкокомпрессионным теплоносителем. В теплоноситель вводятся конец тепловой трубы при свинчивании ее с коронкой или концы тепловых труб, соединяемых секциями.

Тепловые трубы снижают температуру в зоне охлаждения в несколько раз и уменьшают чувствительность материала и конструкции долота к условиям охлаждения. Это особенно важно для долот повышенной сложности, например с герметизированными маслонаполненными опорами, где без нормализации теплового режима смазки усложнение конструкции не оправдано, и для алмазных долот (см. рис. 57).

В шарошечных долотах наибольее теплоагруженным участком, определяющим стойкость инструмента в целом, является опора и подшипниковый узел шарошек.

Результаты исследования позволяют надеяться на успешное использование тепловых труб в новых конструкциях долот для повышения стойкости герметизированных опор (рис. 58). В первую очередь стойкость опор возрастает за счет понижения температуры смазочной пленки. Растет вязкость смазки, и она работает значительно дольше.

С возрастанием глубины бурящейся скважины спуско-подъемные операции, связанные с заменой отработанного долота, занимают много времени, что обуславливает целесообразность перехода на алмазный инструмент, имеющий большую проходку на долото. Однако алмазный инструмент имеет повышенную чувствительность к условиям охлаждения. Износостойкость алмазов в значительной мере определяется их температурой, при повышении последней износ возрастает. Снижать рабочую температуру инструмента увеличением расхода промывочной жидкости невыгодно ввиду возрастаания гидравлических потерь.

Снижение температуры торца алмазных долот и бурильных головок возможно без изменения технологического режима бурения также с помощью тепловых труб.

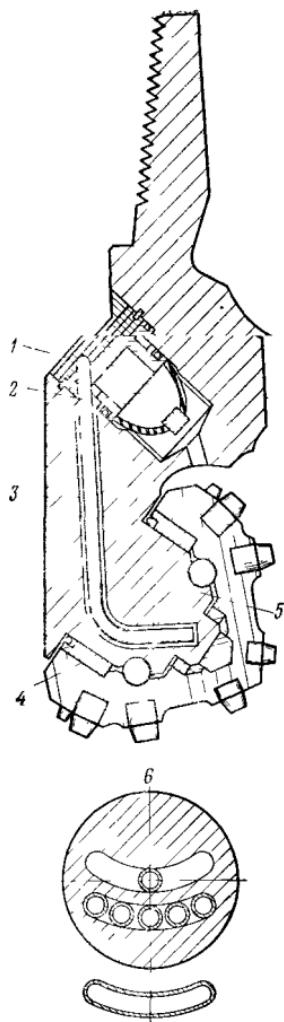


Рис. 58. Охлаждение герметизированной опоры шарошечного долота тепловыми трубами:

1 — узел принудительной подачи смазки, 2 — тепловая труба, 3 — лапа долота, 4 — шарошка, 5 — опора; 6 — варианты расположения тепловых труб в поперечном сечении цапфы — от одиночной трубы круглого и овального сечения до пяти труб

Выше мы показали схему алмазного долота с бурильной тепловой трубой (БТ). Заранее испытанная БТ размещается в шихте матрицы при изготовлении последней.

Долото с тепловыми трубами должно значительно превосходить по качеству обычное, в котором алмазы имеют пониженную прочность за счет температурных напряжений, возникающих еще в процессе изготовления долота при технологическом нагреве матрицы в пресс-форме. С целью сохранения прочности алмазов целесообразно закладывать в шихту дополнительные технологические тепловые трубы, предохраняющие от перегрева алмазосодержащий слой матрицы в процессе ее изготовления. Тепловая труба, таким образом, способна предохранить алмазное долото от перегрева не только при бурении, но и с момента его изготовления. Это есть новое и весьма необычное применение тепловых труб.

Анализ полей изотермы и адиабат, полученных моделированием температурных полей на электропроводной бумаге с помощью интегратора, показал, что существующая температура на торце алмазного бурового инструмента может быть снижена с помощью ТТ на $100 \div 200^{\circ}\text{C}$. С увеличением толщины матрицы эффективность действия ТТ несколько снижается. Желательно возможно большее приближение тепловой трубы к торцу инструмента. Сказанное приводит к следующему очень простому конструктивному решению. Заранее изготовленные ТТ длиной 60—80 мм и диаметром порядка 10—15 мм размещаются в матрице в процессе ее изготовления. Располагаются они в наименее охлаждаемых участках рабочих

секторов, с возможно большим приближением к рабочей поверхности. Их допустимое количество определяется прочностным расчетом. Размещение одной-двух таких тепловых труб в каждом рабочем секторе не приведет к существенному уменьшению прочности матрицы, однако вызовет снижение рабочей температуры, значительное уменьшение чувствительности алмазного бурового инструмента к условиям охлаждения и, как следствие, повысит его износостойкость и проходку на долото.

Интересной и сложной проблемой является тепловой режим породоразрушающего инструмента при глубине скважины 20—30 км. Уже сейчас в девятикилометровых скважинах зафиксирована температура 300°C.

Если допустить, что температура забоя на глубине 20 000 м равна 500°C, а температура промывочной жидкости составляет 60% от этой величины, долото должно охлаждаться жидкостью, имеющей температуру 300°C и находящейся под большим давлением. В этих условиях жидкость на водной основе будет находиться в сверхкритическом состоянии по давлению.

Поскольку температура забоя близка к рабочей температуре инструмента, а величина фактической площади инструмента с забоем очень мала, теплом, поступающим от забоя в инструмент за счет теплопроводности, можно пренебречь и считать главной проблемой охлаждения долота высокую температуру промывочной жидкости.

Известно, что с возрастанием температуры коэффициент теплоотдачи жидкости увеличивается. Однако при температуре более 100°C темп увеличения теплоотдачи у воды становится незначительным. Это обстоятельство не позволяет рассчитывать на радикальное увеличение теплоотдачи и автоматическое решение таким путем проблемы охлаждения долота при сверхглубоком бурении.

Тепловые трубы в перспективе могут быть использованы в качестве теплоотводящего устройства долота при бурении сверхглубоких скважин, на забое которых температуры могут достигать 550—900°C. Такие температуры опасны для породоразрушающего инструмента или для отдельных деталей погружных скважинных устройств, применяющихся в разведочном бурении. Тепловая труба в этом случае должна быть достаточно длинной, чтобы осуществить перенос тепла в зону с пониженной температурой.

Представляет интерес исследование влияния БТТ на предельно достижимую глубину скважины при фиксированном значении подводимой мощности.

При бурении без бурильной тепловой трубы с глубины 7500 до 16 000 м необходимо значительное, в несколько раз, увеличение коэффициента теплоотдачи промывочной жидкости. Практически

такое увеличение невозможно, поэтому приходится снижать мощность и скорость бурения. Оснащение инструмента короткой (порядка 10 см) БТТ эквивалентно увеличению коэффициента теплоотдачи в 4 раза и позволяет вести бурение до глубины 17 000 м. Если же длину трубы увеличить до 0,5 м, нормальный температурный режим сохраняется до глубины 21 000 м.

По опубликованным сведениям, в США занимались разработкой бура для сверхглубокого бурения на основе миннаторного ядерного реактора, охлаждаемого тепловыми трубами.

Тепловые трубы обладают весьма удобным свойством — реверсивностью, т. е. способностью менять направление теплового потока по нашему желанию. Может быть, поэтому тепловые трубы все чаще стали называть тепловыми трансформаторами. С помощью такого трансформатора можно не только охлаждать ядерный реактор в скважине, но и концентрировать мощный, равномерно распределенный во все стороны тепловой поток реактора в узкий направленный тепловой луч. Он и расплавит горную породу не хуже, чем известный гиперболоид инженера Гарнна...

Интересное применение могут найти ТТ при строительстве и эксплуатации скважин в районах вечной мерзлоты. Для предотвращения растопления устья скважины в нее на глубину 20—30 м можно спустить двухтрубное направление, содержащее внутри фреон и заканчивающееся над устьем теплообменником. В зимние месяцы с отрицательной температурой воздуха тепловая труба аккумулирует холод и замораживает пространство вокруг ствола скважины, предотвращая его растопление.

Новейшие, в том числе лазерные, методы разрушения горных пород, возможно, найдут свое первоначальное промышленное применение в тех областях техники, где конечный результат мало связывается с его стоимостными оценками: в военном деле, в космических исследованиях, в сверхглубоком бурении наmantню Земли и т. п. Нередко даже непродолжительный опыт эксплуатации таких устройств приводит к серии коренных улучшений конструкции после которых ее стоимость оказывается приемлемой и для обычного гражданского применения.

ЧТО ОЖИДАЕТ БУРЕНИЕ В 2000 ГОДУ ИЛИ СЯДЕТ ЛИ БУРОВИК В КРЕСЛО?

До конца текущего столетия осталось менее двадцати лет. Что ожидает бурение в течение этого срока? Такой вопрос все чаще

и чаще возникает на страницах отечественной и зарубежной печати. Обзор основных работ по этому вопросу позволяет сделать некоторые интересные выводы.

Прежде всего следует заключить, что бурение принадлежит к одному из тех консервативно развивающихся направлений техники, в которых революционные преобразования редки. Но если они случаются, то оставляют после себя глубокий след. Об этом свидетельствует многовековой опыт человечества в области бурения, подтверждающий полезность изучения истории техники. Вот один исторический пример.

Часовой мастер Г. Лешо из Женевы рассматривал как-то античную находку — пластинку красного египетского порфира. Он заметил на ней множество параллельных бороздок одинаковой глубины, расположенных на равном расстоянии друг от друга. Учитывая высокую твердость порфира, Лешо полагал, что бороздки могли быть сделаны только высокотвердым инструментом, возможно алмазом. Это натолкнуло часовщика на мысль о конструктировании алмазного бура. Стальной полый цилиндр был оснащен на торце черными африканскими алмазами, благо они были в часовой мастерской. Заставить цилиндр вращаться труда не составило. Так в 1862 г. родился алмазный вращательный метод бурения, а имя Г. Лешо навечно вошло в историю бурения. Непрерывное совершенствование существующей техники и технологии в бурении за счет различных усовершенствований коренным образом изменит скорости проходки скважин. И хотя за последние 100 лет принципиально новых методов бурения не появилось, скорости бурения в нефтепромысловом деле возросли более чем в 100 раз. Подобные улучшения существующей технологии ждут нас и в будущем.

СВЕРХГЛУБОКОЕ БУРЕНИЕ Будут увеличиваться глубины скважин, в первую очередь скважин, пробуренных для исследовательских целей. Максимальные глубины скважин на нефть и газ могут быть достаточно точно экстраполированы для известных природных условий. Например, при температурах выше 100 °C тяжелые углеводороды разлагаются на более легкие компоненты углекислый газ и сероводород. Поэтому прогноз глубин залегания для газовых залежей не превышает 10 000 м, а для нефти — еще меньше.

По-видимому, эксплуатационные нефтяные и газовые скважины никогда не будут достигать отметки более 12 тыс. м.

Интересно проследить изменение глубин за последние 200 лет.

Рекорд глубины бурения 1200 м, достигнутый в Китае еще до нашей эры, в Европе удалось перекрыть только немногим более ста лет тому назад. Не случайно самую глубокую скважину 1885 г.,

пробуренную близ Шлодебаха под Лейпцигом, назвали тогда «глубочайшей скважиной, когда-либо существовавшей на Земле».

За истекшее столетие прогресс при освоении глубин бурения был весьма значительным: с 1300 м до глубины 10 500 м. Только в 1938 г. глубина возросла более чем вдвое. На очередные 5 км (4,5—9,5 тыс. м) понадобилось 36, а исключая годы войны (1939—

Год	Глубина, м	Страна, район	Примечание
1765	180	Западная Европа	Ударно-штанговое бурение
1869	446	Россия, Поволжье	Самая глубокая в мире скважина на нефть для того времени
1870	1300	То же	Ударно канатное бурение
1885	1390	Германия, Лейпциг	Вращательное алмазное бурение с промывкой водой. Диаметр скважины — 48 мм
1898	2004	Германия	—
1900	1700	США	Рекорд глубины бурения нефтяных скважин в начале века
1925	2330	То же	Последний рекорд ударного способа бурения
1933	3335	США, Калифорния	—
1938	4573	США	—
1945	5077	То же	—
1949	6254	»	—
1958	7721	»	—
1974	9583	США, штат Оклахома	Скважина носила название «Берта Роджерс»
1980	10500	СССР	Самая глубокая в мире скважина

1945 гг.) — 30 лет, или каждый год глубина скважин в среднем росла на 167 м. Если такие темпы сохранятся и в будущем, то к 2000-му году человечество сможет достигнуть глубины 15 км (отсчет с 1974 г.). Хочется верить, что с учетом неизбежного прогресса техники эти глубины будут достигнуты раньше.

В настоящее время в СССР бурятся две скважины, конечная цель которых — глубина 15 км. Ни одна страна в мире не ставила таких задач. Еще в 1970 г. советскими и американскими конструкторами были спроектированы буровые установки, рассчитанные на 15-километровую глубину. Уникальные отечественные установки, построенные на Уралмашзаводе, сейчас работают на Кольском полуострове и в Азербайджанской ССР в районе Саатлы. Кольская буровая скважина, начатая в 1970 г., достигла глубины 10 500 м и сейчас является самой глубокой скважиной в мире. Это вы-

дающееся достижение советской науки и техники, сравнимое с космическими успехами страны.

Ранее уже упоминался десятый Всемирный нефтяной конгресс 1979 г. Там обсуждались вопросы сверхглубокого бурения. Интересное высказывание удалось услышать из уст одного специалиста из США. Эта страна с начала нашего века обладала абсолютными рекордами глубины скважин и никому их не уступала. Неудивительно, что везде и всюду американские инженеры и политики до сих пор говорили о своей технике бурения скважин только в превосходных степенях. И вдруг, подобно тому как это случилось с первым в мире спутником Земли в 1957 г., первенство пришлось уступить стране, технологические возможности которой много лет оценивались с плохо скрываемым пренебрежением.

Усилия на проектирование, изготовление и монтаж необычной буровой установки можно сравнить с созданием мощных исследовательских лабораторий или крупного завода с самым совершенным оборудованием. Так, стальная ферма вышки почти 70-метровой высоты способна нести груз около 500 т. Недаром Кольскую сверхглубокую скважину по обилию и ценности научного материала сравнивают с результатами полетов первых космических аппаратов.

Возможно, как и в космосе, для достижения глубин более 15—20 км понадобится совсем другая, чем теперь, техника. Нельзя же было всерьез говорить раньше об освоении космоса с помощью старой техники из воздушных шаров, дирижаблей или даже реактивных самолетов.

Действительно, на таких глубинах бурильная колонна будет работать на пределе своих возможностей, температуры достигнут несколько сот градусов по Цельсию. Только нагрев промывочной жидкости потребует применения специальных устройств для ее охлаждения, чего раньше в составе бурового оборудования никогда не было.

Каковы же перспективы? Рассмотрим основные направления развития техники и технологии бурения, а также пути основных научных исследований. В общих чертах они сводятся к следующему:

механизация и автоматизация трудоемких работ на буровой, в первую очередь сиуско-подъемных операций; освобождение бурильщика от значительной физической нагрузки в такой степени, чтобы он больше занимался поддержанием оптимальных режимов бурения и становился оператором в наиболее полном понимании этого слова;

создание надежного телеметрического канала связи с забоем скважины для оперативного контроля всего забойного процесса независимо от способа бурения (параметры режимов бурения, про-

странственное расположение скважины, автоматическое предупреждение осложнений и т. д.). Насколько важное место занимают эти вопросы в зарубежных исследованиях, видно из того, что только в США разработкой каналов связи занято несколько десятков компаний. Интенсивные работы по разработке надежных каналов связи с забоем скважины в немалой мере были вызваны аварией на сверхглубокой скважине в бассейне Анадарко в штате Оклахома. На глубине 9440 м неожиданно была встречена жидккая сера, заполнившая ствол. Застывший столб серы поднялся на высоту 4,5 км и заклинил бурильные трубы. Если бы с забоя аварийная ситуация была передана вовремя, тяжелейшую аварию удалось бы избежать;

расширение использования ЭВМ, начиная с выполнения стандартных текущих расчетов (малые ЭВМ) до вмешательства ЭВМ в процесс бурения, в управление и оптимизацию, в обобщение предыдущего опыта для сокращения сроков строительства скважин (большие ЭВМ, работающие в диспетчерском пункте);

усовершенствование долот. За последние годы во всем мире появилось множество предложений по улучшению конструкций механической и гидравлической частей долот. Каждое из них, будучи надежно отработанным в производственных условиях, уже сейчас могло бы дать значительный технологический выигрыш. Речь может идти об усовершенствованных алмазных долотах с гидромониторной промывкой, эрозионных бурах, герметизированных опорах и т. п. В качестве одного из примеров можно указать предложение автора по использованию реактивной силы струи гидромониторного долота для увеличения крутящего момента на долоте. Для этого оказалось достаточным развернуть сопла долота под некоторым углом в сторону, противоположную направлению вращения долота. Расчеты показывают, что такой простейший прием способен дать добавку к величине крутящего момента турбобура на 5–10 %.

ДРУГИЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ. Специалисты по бурению в США считают перспективными: разработки в области тихоходных забойных двигателей; эрозионного и кавитационного бурения; бурение с гибким шланго-кабелем; разработку долот повышенной долговечности, режущая поверхность которых подвижна за счет элементов цепной передачи, заменяющей изношенную часть цепи на свежую. Внешняя рабочая поверхность звеньев цепи армирована алмазами. Звенья сменяются гидравлическим способом с помощью исполнительного механизма. Он состоит из пружины, плунжера, кулачково-стопорного устройства и срабатывает при резком понижении давления в циркуляционной системе скважины. Эти долота считаются выгодными для глубокого бурения.

Ранее уже говорилось о бурении с гибким шланго-кабелем. Существует, однако, еще один весьма оригинальный способ бурения с помощью непрерывной по длине бурильной колонны, предложенной советскими специалистами.

Чтобы рассказ о нем стал более доступным, вспомним об одном полезном инструменте. Возможно, читатель не раз держал его в руках. Речь идет о гибком полотняном сантиметре, который использует в своей работе портной. Если такой сантиметр плотно скрутить в спиральную катушку, а затем попытаться вытянуть в сторону внутренний центральный виток, то может получиться довольно жесткая и длинная телескопическая трубка, свитая из витков катушки и постепенно расширяющаяся к вашей руке. В конце 20-х годов радиолюбители подобным образом конструировали изящные рупоры для громкоговорителей.

На таком же принципе и работает буровая установка (рис. 59). Она состоит из объемистого бункера, заполненного прочной, но очень гибкой стальной лентой особого профиля. В нижней части бункера имеется формирующее устройство, которое из двух лент непрерывно калибрует трубчатую двухслойную конструкцию. Внутренняя и внешняя трубы свиваются в противоположные направления, взаимно обжимают друг друга, обеспечивая прочность и герметичность колонны.

Длина колонны зависит от емкости контейнера. При подъеме труб из скважины ленты снова проходят через калибрующую головку, попадают в бункер и под влиянием собственной упругости снова раскручиваются в отдельные ленты.

Промывочная жидкость от насоса попадает в бункер через трубу в верхней крышке.

Внутри лент имеются электропроводные жилы, подающие энергию электробуру на забое скважины. Работают и с гидравлическим забойным двигателем винтового или турбинного типа. Ленточные трубы можно использовать для крепления ствола скважины, если контейнер заполнен kleящим веществом или цементным раствором.

Новый способ полностью исключает буровую вышку и связанные с ней монтажные работы, улучшает отдельные технологические условия бурения, например снижение гидравлических сопротивлений и вибраций, и др.

Среди перспективных конструкторских новинок за рубежом называют забойные превенторы второго и третьего поколения. Они автоматически перекрывают ствол скважины вблизи забоя, исключая выброс нефти, воды или газа в самый начальный и опасный период надвигающейся беды.

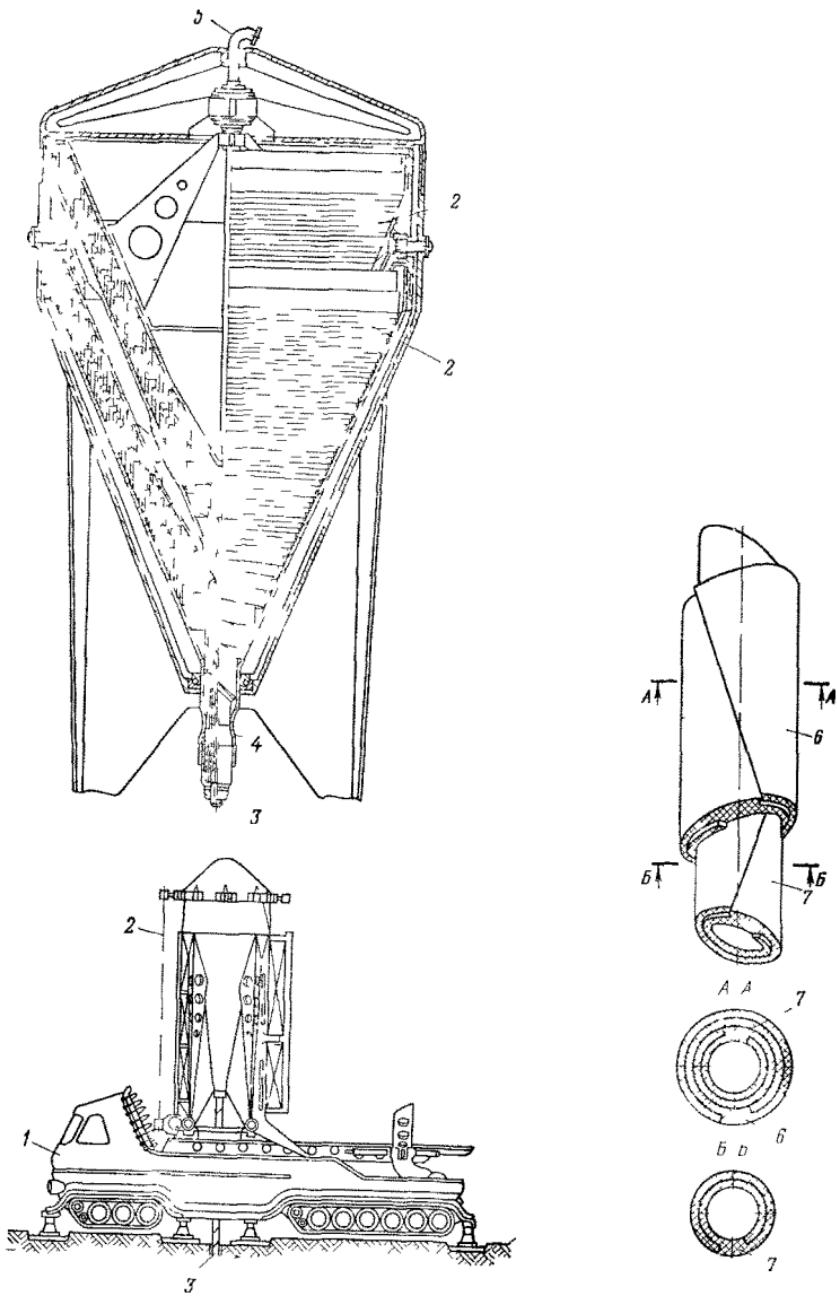


Рис. 59. Буровая установка с колонной из профилированных лент.
1 — платформа с кабиной и пультом управления; 2 — контейнер с лентами;
3 — ленточная бурильная колонна; 4 — катибровочная головка,
5 — труба к промывочному насосу, 6, 7 — наружная и внутренняя оболочки трубы

Перечисленные материалы могут дать достаточно наглядное представление о буровой установке будущего. Она будет максимально насыщена контрольно-измерительной аппаратурой, включающей, кроме традиционных приборов, датчики уровня, температуры и плотности раствора в емкостях с автоматическим восстановлением необходимых или заданных значений качества раствора; систему предупреждения выброса, и другими приборами. Надежные и многочисленные приборы и датчики — необходимый шаг к компьютеризации бурения.

А как же быть с вопросом, прозвучавшим в заголовке главы? Надо полагать, традиционно застывшая фигура современного бурильщика у рукоятки тормоза бурильной лебедки и полная механизации процессов бурения в сочетании с работой ЭВМ к концу нашего века будут несовместимы. Буровик будет управлять буровой установкой с пульта. Никто не помешает ему сесть в кресло.

ТВОЙ ПУТЬ В НАУКУ, СТУДЕНТ

Когда говорят о путях в науку, обычно ссылаются на великих ученых. А. Эйнштейн, например, начал свою научную работу простым служащим патентного бюро. Казалось бы, что могло быть скучнее, чем перебирать чьи-то готовые технические решения, в которых мысль остановилась подобно локомотиву, а искры остались где-то за поворотом? Но именно здесь родились знаменитые работы по броуновскому движению и по теории относительности, до сих пор волнующие наше воображение.

В конце XIX в., когда на флоте стали применяться мощные паровые машины, инженеры столкнулись с опасной вибрацией корабля. Если она возникала, то измеряли ее весьма просто. Наливали в стакан чай, ставили возле источника вибрации и линейкой измеряли, сколько расплескалось чаю. Если уровень его понижался на дюйм, то говорили: «вибрация — 1 дюйм». Гениальная простота и... невежество сроднились в этом приборе. Акад. А. Н. Крылов, знаменитый кораблестроитель, создатель всемирно признанного учения о вибрации корабля, начал свои исследования вибрации с инженерной разработки и постройки прибора для записи вибраций.

Акад. А. Ф. Иоффе, известный специалист в области полупроводников, вспоминал, что свой научный путь он начал, будучи на студенческой практике. Не отдавая себе отчета в технической серьезности сделанного, А. Ф. Иоффе одну часть двухпролетного моста собрал на насыпи и в готовом виде перекатил ее на устои моста.

Таких примеров можно привести много. Конечно, ссылки на

великих ученых ярко освещают начало их научной деятельности, может быть, даже слишком ярко и этим отпугивают молодежь: «Так то ж Эйнштейн!» Действительно, быть Эйнштейном суждено одному из очень многих, а как же начинать нам?

При упоминании слова «наука» в воображении начинающих возникают ассоциации, связанные с понятиями о циклотронах, элементарных частицах, о космосе, о бионике или электронике. Не этим ли объясняются высокие конкурсы на вступительных экзаменах на специальность по автоматике и телемеханике?

Молодежи кажется, что родились они поздно... Как тут не вспомнить эпизод из жизни Планка, великого физика, одного из создателей теории квантов. Его учитель, профессор Джолли, на сообщение о том, что Планк после окончания университета решил посвятить себя теоретической физике, участливо посоветовал: «Молодой человек, почему Вы решили погубить свою будущность? Теоретическая физика исчерпана, дифференциальные уравнения сформулированы, методы их решения разработаны. Можно вычислять отдельные частные случаи, но стоит ли отдавать такому делу всю свою жизнь?»

История физики немало посмеялась потом над прогнозом Джолли.

У вас, коллеги, положение проще — вы уже твердо выбрали специальность, все тревоги и сомнения остались позади. Будем считать, что вы сделали и второй важный шаг — вы побороли робость и неуверенность и решили приобщиться к исследованиям. С чего начать?

Известно, что получить знания в объеме вуза можно путем самообразования. Но плодотворнее закончить институт очно под руководством и при внимании ваших учителей. Так и в науке. Лучше работать со старшим опытным руководителем и обязательно в коллективе.

В начале научного пути в выборе правильного направления исследований или конструирования важную роль играет подсказка молодому человеку со стороны научного наставника. Это следует помнить и ценить. Конечно, большинство студенческих работ не могут считаться полностью самостоятельными. Идея, планирование эксперимента во многом принадлежат научному руководителю, но в совместных поисках и конструировании рождается не только макет или установка, но и новый молодой исследователь.

У человека в разговоре, в общении часто рождаются острые мысли, идеи, в голове возникают неожиданные ассоциации. Все это облегчает напряженную работу мысли. Недаром ученые так высоко ценят научные конференции, съезды, научно-техничес-

ские советы и совещания. Для начала все это вы сможете получить, участвуя в студенческом научном обществе.

Товарищеские дискуссии способствуют целеустремленному завершению поставленной программы исследований, помогают отбрасывать в сторону спорные детали решения, придают уверенность в себе.

Часто приобщение к науке начинается после прочтения специальной научно-технической литературы. Книги потому и являются надежным помощником ученого, что они обладают волшебной силой взвуждать новые и неожиданные мысли, когда сталкиваешься с мыслями других.

Научная работа — это своеобразная учеба. Однако в отличие от обычной учебы ни обучающийся, ни руководитель не знают заранее решения или ответа на поставленную задачу.

Невозможность заранее предсказать результаты создает атмосферу совместного поиска решений, когда все: и сомнения, и неудачи, и творческие находки — превращается в неотъемлемую часть учебной и воспитательной работы и в итоге приносит щедрые плоды. Тем интереснее такая учеба! Она позволит вам проследить путьисканий и мыслей ваших старших товарищей, усвоить методику научной работы и познать вместе с ними радость победы, и горечь поражений. Увы! В науке часто бывают неудачи, но на миру, как говорится, и смерть не страшна. Одно утешение — ваши ошибки не повторят другие.

Научитесь наблюдать и ставить вопросы и пытаться искать ответы на них. Ученые говорят, что порой легче дать ответ на вопрос, чем его поставить. А удачно сформулированная задача — это уже половина решения.

Читайте технические книги и журналы и, если копаться в них доставляет вам не меньшее наслаждение, чем чтение художественной литературы, считайте, что вы «заболели» наукой и безнадежно неизлечимы. Если же при этом вы запаслись терпением и трудолюбием, ваше приобщение к науке состоялось.

Итак, смелее, друзья! Объяснение непонятного изгиба экспериментальной кривой на вашем графике; упрощение сложной формулы; изящное решение интеграла; улучшение существующей конструкции машины или даже одной детали ее; использование известного метода в новой ситуации; оценка работы прибора или применение его там, где создатели прибора и не помышляли его применить; краткое освещение (реферат) сложной статьи из отечественного или зарубежного журнала; наконец, просто обновление или приобретение знаний для решения поставленной задачи — все это не только двери в науку, но и есть сама наука.

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Автор надеется, что книгу прочтят не только те, кому она предназначена в первую очередь, но и студенты старших курсов, и выпускники, разъезжающиеся по новым местам службы после защиты дипломных работ.

Провожая вчерашних студентов на первую инженерную должность, всегда немного волнуясь, чуть-чуть болит сердце. И хочется сказать на дорогу что-то очень важное, еще раз повторить молодому специалисту главный совет: будь настоящим инженером!

А пока молодой выпускник инженером только называется. Что же нужно сделать, чтобы стать подлинным инженером? — Об этом напутственное слово.

Пожалуй, стоит начать его с вопроса, чем отличается инженер от рядового работника? Каждый ответит — знаниями. Но знания необходимо обновлять, старый багаж, в том числе и полученный в институте, быстро стареет. Единственный и надежный путь, позволяющий идти в ногу со временем,— чтение периодической технической литературы по своей специальности. Надо с первых дней позаботиться об организации личной библиотеки, выписать журналы, в первую очередь реферативные, содержащие текущий обзор новинок в мировой и отечественной литературе.

В чтении знайге меру. В студенческие годы будущие инженеры нередко жадно читают подряд по своей специальности все, что попадается им под руку, делают подробные выписки, но скоро убеждаются, что это занятие бесполезное. Усвоить прочно можно лишь то, что интересует тебя в данный момент, когда ты решаешь конкретную практическую задачу. Только такие знания надежны. Отсюда следует, что в личной библиотеке может и должно быть достаточно книг, но многие из них могут пригодиться вам только спустя годы. Не следует этого бояться. Считаю, однако, что много читать так же вредно, как и мало. Мало — не научишься мыслить, много — разучишься.

На первых порах инженер, оказавшись на производстве после института, предпочитает оставаться в тени: очень страшно что-нибудь посоветовать невпопад или, что еще хуже, услышать от рабочих просьбу высказать свое мнение по какому-либо поводу. Не бойтесь этого состояния, оно скоро пройдет, чем блестяще будет подтверждено диалектическое понятие перехода количества приобретенных знаний в качество. Не смущайтесь, если быстрые ответы приходят не сразу: отсутствие способности молниеносно соображать часто и совершенно несправедливо принимают за неспособность мыслить вообще. Не страшитесь трудностей. Вспомните слова

известного спелеолога Норберта Кастера: «Когда трудности кажутся непреодолимыми и препятствия множатся, это значит, что успех близок».

И еще один совет: не позволяйте себе погружаться в болото текучки повседневных однообразных дел, чаще ищите себе работу за тем рубежом, которым ограничены ваши обязанности по должности. Усталость, замеченные признаки равнодушия хорошо устраивают поездки на конференции, на слеты, по обмену опытом на соседнее предприятие. После поездки инженер возвращается, полный энергии и с новыми замыслами.

Постоянный поиск в работе, стремление использовать свои знания на пользу людям необыкновенно обогащают жизнь, делают ее целесообразной. С каким сожалением видишь иногда отдельные группы скучающей молодежи, не знающей, чем себя занять.

Чтобы жизнь была содержательнее, важно в ней чаще делать для себя открытия. Неважно, если они будут маленькие и ценные только для самого «первооткрывателя».

Разве не поразительно, что все молекулы ДНК, несущие генетическую информацию о всем живущем человечестве на земном шаре, умещаются в объем, не превышающий булавочную головку! Эта булавочная головка — величайшая драгоценность человечества. Есть о чём задуматься, когда узнаешь об этом.

Уже в первые годы работы на производстве накапливается много записей, неосуществленных идей, мыслей... Полезно почаще просматривать эти записи и возвращаться к повторному изучению одного и того же явления. Инженер буквально обрастает нерешенными задачами. В технической литературе редко находишь готовые ответы на вопросы практики. Если такие задачи у вас появились, ваша научная деятельность настоящего инженера началась, вы вторгаетесь в Неизвестное. Если в решении задачи вам покажется, что зашли в тупик и полученные результаты кажутся абсурдными, не спешите с выводами. В поисках истины полезно многое, даже заблуждения и ошибки; исправление ошибки заставляет мысль развиваться дальше. Ищите противоречия в технологии и конструкциях. Из противоречий возникают изобретения.

Возможно, дальнейшие поиски приведут вас в аспирантуру. Здесь важно найти хорошего наставника, которому вы решитесь доверить свою научную судьбу. Научного руководителя, как и специальность, выбирают добровольно. Впрочем, этим правом в равной мере располагает и руководитель по отношению к будущим своим ученикам... Надо приучить себя к записи своих мыслей в любой обстановке, иначе позднее все забудется, и никакие силы не помогут восстановить обдуманное.

Сегодня способность ставить вопросы ценится гораздо выше способности разрешать их. При современном состоянии науки и возможностях научных коллективов решение прикладной задачи — вопрос времени и средств. Постановка задачи, к сожалению, ни от времени, ни от средств не зависит. Тут все дело в наблюдательности и пытливости инженера и ученого.

Эту особенность инженерного творчества давно заметили наши корифеи науки акад. А. Ф. Иоффе, И. В. Курчатов и др. Может быть, поэтому в наше время среди инженеров больше ценят интеллектуалов, чем эрудитов. Важны идеи, и уж потом — методы их осуществления.

Вообще, эрудиция — это не плохо, хуже, когда она оказывается единственным положительным качеством инженера или научного работника. Хорошо по этому поводу сказал великий физик П. Н. Лебедев: «Книжный шкаф знает больше чем я, но я физик, а он нет!».

Говорят, работать надо методично. Можно лишь позавидовать человеку, который приучил себя к этому. К сожалению, после такой работы у многих от усталости наступает кризисное состояние безделья. Не жалейте этого потерянного времени, его можно наверстать, когда соберетесь с силами. Конечно, скверно, когда кризисное состояние иногда безнадежно затягивается...

Итак, что же такое — становиться инженером? Самодисциплина, умение работать и добывать информацию; идти в ногу со временем; искать новое в обыденной технологий производства; бороться с собственной ленью и никогда не мириться с достигнутым благополучием; постоянная неудовлетворенность — только так можно стать подлинным инженером.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ХРОНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ

Ограниченный объем и размеры скважины в поперечнике ухудшают применение такого инструмента, который обеспечивал бы наибольшую эффективность его работы. Именно поэтому в бурении, как никогда в других отраслях деятельности человека, с незапамятных времен получило развитие изобретательство. Во все времена находились умелцы, остроумно решавшие те или иные задачи бурения. Все, что появилось вновь, кем то было изобретено. Многие из великих тружеников бурения остались безымянными, но благодаря им техника бурения достигла сегодняшнего высокого уровня. Возможно, читателю будет интересно иметь целостное представление во времени о далеком прошлом бурения. Уместно также напомнить главные события, освещающие наиболее яркие страницы бурения.

В приведенных табл. 1, 2, отражающих главные ступени ранней и поздней стадий бурения, в хронологическом порядке отображены появления разнообразных конструкций и механизмов.

Таблица 1

Этапы развития	Ступени культуры	Время	Технические процессы, орудия
Первобытная коммуна	Дикость — средняя ступень	Поздний палеолит (Ориньяк, Солюtre, Мадлен), 25000—15000 лет до н. э.	Простейшие приемы ротации. Применение сверл-проколок, просверленные камни
	Дикость — высшая ступень	Палеолит, 15000—3000 лет до н. э.	Каменные простые и составные орудия: топоры, мотыги, палицы-молоты, с просверленными отверстиями
	Начало низшей ступени варварства	Неолит, 3000—2000 лет до н. э.	Развитие ротации (сверление в совокупности приемов). Топоры разных видов из камня. Сверлильные снаряды
Первобытная коммуна Отмена матриархата Домашняя патриархальная община	Варварство, средняя и высшая ступени	Век бронзы, 2000—1500 лет до н. э. Век железа, 1500—500 лет до н. э.	Дальнейшее развитие приемов резания — сверления с применением бронзовых орудий. То же, появление орудий из железа

Таблица 2

Годы	Технические процессы и события
1450 г. до н. э. III—VI в. до н. э.	Изобретение тройного луккового сверла Расцвет китайского способа бурения на глубины свыше 500 м
221 г. до н. э.	В Китае, в провинции Сычуань, из скважины на соленую воду получили нефть и газ
1126	Начало бурения скважин для эксплуатации подземных вод в провинции Артуа, Франция
1184	Добыча соляного раствора из скважины в г. Кадец (Кострома)
1291	Марко Поло сообщает европейцам о китайском способе бурения
1332	Первые документальные упоминания о бурении скважин на соль на Руси
1420	Первое в Европе печатное упоминание итальянцем Джiovanni Fontana в «Книге приборов для ведения войны» о конструкции буровой скважины
1500	Леонардо да Винчи конструирует ручной вращательный буровой станок
1590	Первые отборы проб горных пород бурением
1520—1540	Закладка скважин («труб») в Леденгске (Бологе) и в Балахне (Горький)
1545—1568	Трубные мастера числятся в списках жителей г. Старая Русса и в купчей Кириллова монастыря Двинского уезда
1602	Первые упоминания о бурении на соль на Пельме (Западная Сибирь)
1613	Изыскание способа бурения пороховых взрывных шпурков при добыче руд
1623	В Орел-Камском (Пермь) работало девять скважин
1687	В г. Тотьме насчитывалось 133 солеподъемные скважины глубиной 170—268 м
1714	Леманом опубликовано описание штангового вращательного бурения (Лейпциг)
1734	Вильтельм де Геннин выпускает описание уральских и сибирских заводов с подробным изложением техники бурения
1742	Пропагандой бурения занимается М. В. Ломоносов
1760	И А. Шлаттер выпускает «Обстоятельное наставление рудному делу..» с описанием разведочного бурения на уголь
1763	Выход книги М. В. Ломоносова «Первые основания металлургии или рудных дел»
1750—1780	Описание бурения во Французской энциклопедии

Продолжение табл. 2

Годы	Технические процессы и события
1815	Попытки применения промывки для очистки скважины при ударно-канатном бурении
1825	Изобретение тройного лучкового сверла
1828	Пробное ручное бурение вечной мерзлоты французским естествоиспытателем Эйрие в районе г. Обдорска (Салехард), Западная Сибирь
1829	А. Гумбольдт подробно излагает китайский способ бурения в своем описании путешествия по Сибири (русский перевод с немецкого — 1837 г.)
1830	Начало колонкового бурения в России при добывче соли
1833	Е. Классен публикует в Москве одно из первых «Руководств к устроению артезианских скважин»
1835	Первое применение для разведки залежей нефти «земляного бура», Таманский полуостров
1842	Первое применение паровой машины для привода бурового станка
1843	Опубликован «Курс горного искусства» капитана А. Узатиса — печатное руководство по бурению
1844	Появление свободно падающего инструмента (фрейфала), устранившего противоречия между постоянно нарастающей глубиной скважин и системой жестко соединенных штанг, разрушающихся при падении на забой
1846	Сообщение инж. Фовеллем в Парижской академии о новом способе промывки скважины с помощью насоса
1847	В Н. Семеновым впервые в мире в Баку, Биби Эйбат, пробурена скважина на нефть. С нее начинается ускоренное развитие техники бурения под влиянием растущих потребностей нефтедобывающей промышленности
1849	Первый горный паровой перфоратор для бурения шпурлов
1853	Первый патент термобура
1855	Датчанин Мертсенсон изобрел способ проходки скважин струей воздуха («датский способ бурения»)
1857	Пневматический перфоратор Соммелье (Франция)
1862	Рождение колонкового вращательного алмазного бурения (часовщик Г. Лешо, Швейцария). Вращательный метод бурения переоткрыт спустя много лет
1868	Опубликование Д. И. Прозоровским рукописного руководства по бурению XVII в. «Рукопись, как зачать делать новая труба на новом месте»

Продолжение табл. 2

Годы	Технические процессы и события
1869	Томас Роуланд (США) патентует бурильную платформу с раздвижными ногами для бурения в открытом море
1874	Первые сведения о патентовании электробура
1878	Запатентовано двухшарошечное долото
1879	Одно из первых описаний в «Горном журнале» прибора для измерения искривлений скважин. Показания прибора основаны на разъедающем действии плавиноковой кислоты на стекло (прибор Нольтена)
1880	Вышла двухтомная «Справочная книга для горных инженеров и техников по горной части» Г. Я. Дорошенко
1882	Изобретен превентор
1884	Применение компасной стрелки в скважине для измерения искривлений
1888	Запатентован роторный стол
1890	Инж К Г Симченко изобрел первый в мире турбобур. Выдан патент на использование промывочной жидкости с удельным весом более единицы (США)
1892	Появление стальных буровых вышек
1893	Инж В К Згленецкий предложил прибор для измерения угла искривления и азимута в застывшем желатине
1894	Первые опыты по тампонажу скважин (Баку)
1895	Первое в мире бурение С. Г. Войславом ударным способом наклонно направленной скважины с поверхности земли. Наклонное бурение скважины в шахтах известно много раньше. Первая нефтяная скважина, пробуренная роторным способом (США, Техас)
1896	Проект морского бурения инж В. К. Згленецкого
1899	Рождение бурения дробью по предложению инж Девиса (США). Способ дробового бурения был пере открыт спустя много столетий со временем неолита, где вместо дроби насыпали абразивный песок,
1901	Изобретение обратного клапана для бурильных труб (США). Первые удачные попытки управляемого глушения нефтяного фонтана
1902	Инж Н. И. Глушков издает в Грозном один из первых немецко-русских словарей по бурению
1904	Выход в свет четырехтомника «Руководство к бурению скважин» инж. Н. И. Глушкова
1909	Появление двухшарошечного долота с конусными шарошками

Продолжение табл. 2

Годы	Технические процессы и события
1910	Выход книги Н. А. Соколовского «Буровые трубы вообще и трубы новой системы. Крепление и самотампонаж ими глубоких скважин» Разработка метода цементирования с двумя пробками Изобретено замковое соединение бурильных труб
1911	Первая скважина, пробуренная с надводной платформы на озере Каддо Лейк (Техас) Первое трехшарошечное долото (фирма «Юза», США)
1912	Использование клина при искусственном искривлении скважины алмазного бурения на юге Африки при разведке твердых полезных ископаемых
1916	Начало применения твердых сплавов для бурения (Германия) Инж. И. С. Васильев ведет обширные работы по наклонному бурению скважин в Калатинском районе на медноколчедановом месторождении, Урал
1923	Инж. М. А. Капелюшников изобрел одноступенчатый турбобур с редуктором Для утяжеления промывочной жидкости применен барит
1924	Начало автоматизации бурения — автомат Хилда (США)
1925	Автомат подачи М. М. Скворцова («автоматический бурильщик»), СССР В Австралии впервые издана книга по механике грунтов, Терцаги
1928	Изобретение самоочищающихся шарошек долота — одно из высших достижений в бурении Изобретен индикатор веса («ябедник», как окрестили его на промыслах)
1931	Первое применение гидроматика — гидродинамического тормоза для лебедки
1932	В опорах шарошечных долот появились роликовые и шариковые подшипники
1933	Попытка морского бурения вдали от берега (Мексика) со стационарной установки
1934	В СССР изобретен многоступенчатый турбобур
1935	Изобретение трехшарошечного долота со смешенными осями шарошек Появились эмульсионные буровые растворы. Инж. М. А. Гейман впервые сделал попытку бурения турбинным способом наклонной скважины с кривым переводником

Продолжение табл. 2

Годы	Технические процессы к событию
1941	Начало промышленного применения электробурения, СССР
1942	Изобретение Р. Гоглером тепловой трубы. В последние годы она становится объектом пристального внимания специалистов по бурению
1947	Начало океанского бурения вдали от берегов
1948	Опубликованные результаты гидромониторного бурения (США)
1949	Применение двухствольного параллельного бурения на морском месторождении Изберг, Дагестан Появились шарошечные долота, армированные твердосплавными штырями («штыревые долота»)
1950	Сконструирован автоматический клиновой захват
1953	Начало серийного производства гидромониторных долот
1955	Бурение в море с корабли
1957	Морское бурение при глубине воды более 30 м Первые работы по легкосплавным бурильным трубам (ЛБТ), СССР
1959	Появились трехшарошечные долота с герметизированными опорами
1967	Первое применение ЭВМ в бурении, (США)
1969	Первое ручное бурение на Луне в экспедиции «Аполлон» Специалисты по бурению работают на космические исследования
1970	Автоматическое бурение на Луне АМС «Луна-16»
1979	СССР стал обладателем мирового рекорда глубины скважины

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
К читателю	5
Чем же бурят?	7
Какие бывают скважины?	10
Зарождение сверления	18
У истоков техники бурения	23
Размышления о бусинке	25
От Древнего Египта до средневековья	29
Леонардо да Винчи — буровик?	36
Забытые и вновь рожденные проекты	39
Бурение ... льда	45
Бурение, спутники Земли и компьютеры	48
Космос и бурение	54
Телевизионный репортаж из скважины	78
Необычное бурение	95
Почтовые марки рассказывают	100
Скважина — прямоугольник	105
Стальные острова океана	108
Польза и вред вибрации	121
«Посредством жара»	130
Что ожидает бурение в 2000 году или сядет ли буровик в кресло?	140
Твой путь в науку, студент	147
Вместо заключения	150
Приложение Хронология бурения	153

Виктор Ефимович Копылов

БУРЕНИЕ?... ИНТЕРЕСНО!

Редактор издательства Н. А. Круглова

Обложка художника В. Е. Костина

Художественный редактор В. В. Шутъко

Технические редакторы В. В. Соколова, Л. Г. Лаврентьева

Корректор Е. В. Наумова

ИБ 3483

Сдано в набор 12.09.81 Подписано в печать 05.11.81 Т 28129 Формат 84×108^{1/32}.
Бумага типографская № 3. Гарнитура «Литературная». Печать высокая.
Усл.-печ л. 8,4 Усл. кр.-отт. 8,61. Уч.-изд л. 9,78 Тираж 95 000 экз.
Заказ 1093/7815—5 Цена 30 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Москва, 103051. Цветной бульвар, 26