

1

ПРОБЛЕМЫ И СПОСОБЫ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ НА МОРЕ

1.1. УСЛОВИЯ БУРЕНИЯ НА МОРЕ

На процесс бурения скважин на море влияют естественные, технические и технологические факторы (рис. 1). Наибольшее влияние оказывают естественные факторы, определяющие организацию работ, конструктивное исполнение техники, ее стоимость, геологическую информативность бурения и т.п. К ним относятся гидрометеорологические, геоморфологические и горно-геологические условия.

Гидрометеорологические условия характеризуются волнением моря, его ледовым и температурным режимами, колебаниями уровня воды (приливы — отливы, сгоны — нагоны) и скоростью ее течения, видимостью (туманы, низкая облачность, метели, осадки).

Для большинства морей, омывающих берега России (Японское, Охотское, Берингово, Белое, Баренцево, Татарский пролив), характерна следующая средняя повторяемость высоты волн, %: до 1,25 м (3 балла) — 57; 1,25–2,0 м (4 балла) — 16; 2,0–3,0 м (5 баллов) — 12,7; 3,0–5,0 (6 баллов) — 10. Средняя повторяемость высоты волн до 3,0 м в Балтийском, Каспийском и Черном морях составляет 93 %, 3,0–5,0 м — 5 %.

Прибрежная зона арктических морей большую часть года покрыта неподвижными припайными льдами. Судоходство здесь возможно лишь 2–2,5 месяца в году. В суровые зимы в закрытых заливах и бухтах арктических морей возможно бурение со льда и ледяного припая. Представляет опасность бурение со льда в периоды его таяния, разламывания и дрейфа. В то же время дрейфующий лед сглаживает волнение. Особенно это характерно для морей Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского. Здесь средняя повторяемость высоты волн до 3 м составляет 92 %, 3–5 м — 6,5 %.

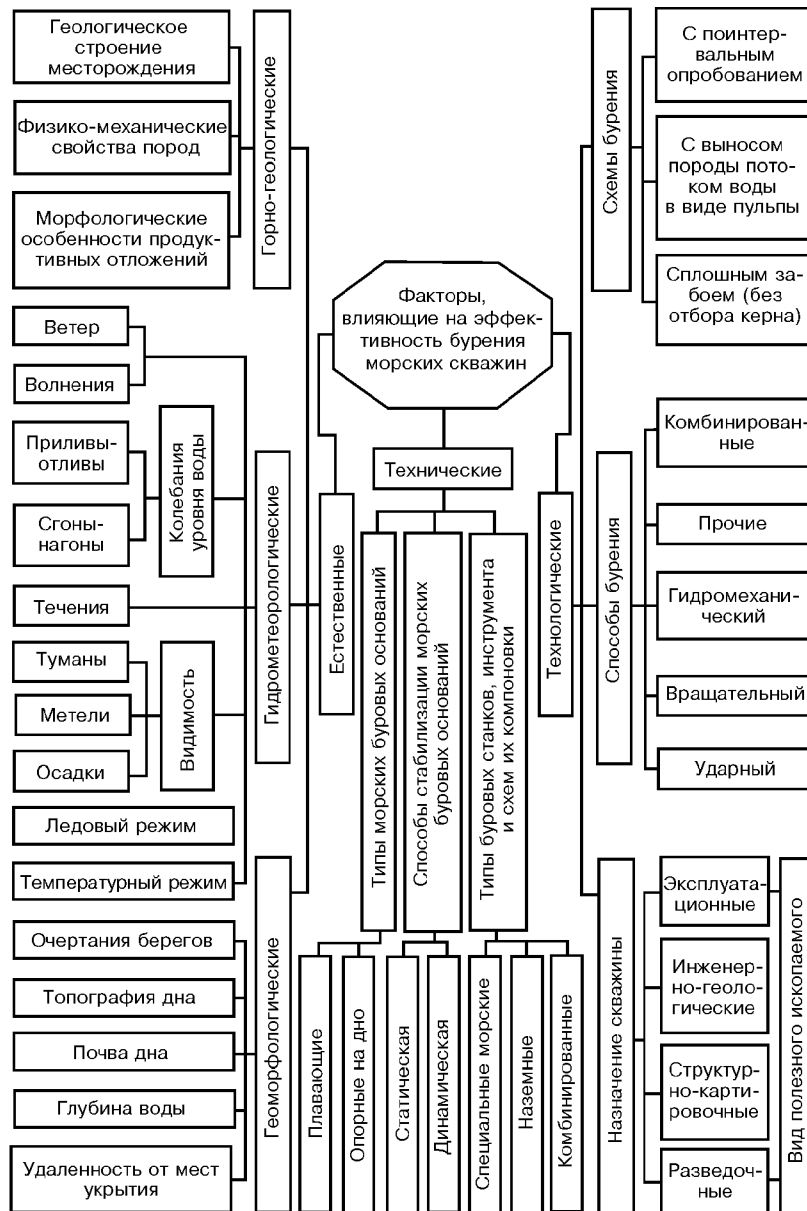


Рис. 1. Факторы, влияющие на эффективность бурения скважин на море

Для бурения на акваториях опасны отрицательные температуры воздуха, вызывающие обледенение бурового основания и оборудования и требующие больших затрат времени и труда на приведение в готовность силового оборудования после отстоя.

Ограничивает время бурения на море также снижение видимости, которое в безледовый период чаще отмечается в ночные и утренние часы. Влияние пониженной видимости на процесс бурения на море можно уменьшить, применив на буровой установке и на берегу современную технику радиолокационного наведения и радиосвязи.

Буровые основания подвержены в море действию течений, связанных с ветровой, приливно-отливной и общей циркуляцией вод. Скорость течений в некоторых морях достигает больших значений (например, в Охотском море до 5 м/с). Воздействие течений изменяется во времени, по скорости и направлению, что требует постоянного контроля положения плавучей буровой установки (ПБУ) и даже перестановки ее якорей. Работа при течениях свыше 1 м/с возможна только при усиленных якорных устройствах и средствах их развоза.

В зоне высоких приливов и отливов обнажается дно большей части прибрежной акватории и резко увеличивается так называемая зона недоступности, в которую буровые суда не могут доставлять установки. Высота приливов даже на соседствующих морях и их участках различна. Так, в Японском море приливы практически не ощутимы, а в северной части Охотского моря они достигают 9–11 м, образуя при отливе многокилометровые полосы обнаженного дна.

Геоморфологические условия определяются очертаниями и строением берегов, топографией и почвой дна, удаленностью точек заложения скважин от суши и обустроенных портов и т.п. Для шельфов почти всех морей характерны малые уклоны дна. Изобаты с отметкой 5 м находятся на расстоянии 300–1500 м от берега, а с отметкой 200 м — 20–60 км. Однако имеются желоба, долины, впадины, банки.

Почва дна даже на незначительных площадях неоднородна. Песок, глина, ил чередуются со скоплениями ракушки, гравия, гальки, валунов, а иногда и с выходами скальных пород в виде рифов и отдельных камней.

На первой стадии освоения морских месторождений твердых полезных ископаемых основным объектом геологического изучения являются участки в прибрежных районах с глубинами акваторий до 50 м. Это объясняется меньшей стоимостью разведки и разработки месторождений на меньших

глубинах и достаточно большой площадью шельфа с глубинами до 50 м. Единичные разведочные скважины пробурены во впадинах глубиной до 100 м.

Основная зона шельфа, разведываемая геологами, составляет полосу шириной от сотен метров до 25 км. Удаленность точек заложения скважин от берега при бурении с ледового припая зависит от ширины припайной полосы и для арктических морей достигает 5 км.

Балтийское, Баренцево, Охотское моря и Татарский пролив не имеют условий для быстрого укрытия плавсредств в случае шторма из-за отсутствия закрытых и полузакрытых бухт. Здесь для бурения эффективнее применять автономные ПБУ, так как при использовании неавтономных установок трудно обеспечить безопасность персонала и сохранность установки в штормовых условиях. Большую опасность представляет работа у крутых обрывистых и каменистых берегов, не имеющих достаточно широкой зоны пляжа. В таких местах при срыве неавтономной ПБУ с якорей ее гибель практически неизбежна.

В районах шельфа арктических морей почти нет обустроенных причалов, баз и портов, поэтому вопросам жизнеобеспечения буровых установок и обслуживающих их кораблей (ремонт, заправка, укрытие на время шторма) здесь необходимо придавать особое значение. Во всех отношениях лучшие условия имеются в Японском и внутренних морях России. При бурении в удаленных от возможных мест укрытий районах должна быть хорошо налажена служба оповещения прогноза погоды, а применяемые для бурения плавсредства должны обладать достаточной автономностью, остойчивостью и мореходностью.

Горно-геологические условия характеризуются в основном мощностью и физико-механическими свойствами горных пород, пересекаемых скважиной. Отложения шельфа обычно представлены рыхлыми породами с включением валунов. Основными составляющими донных отложений являются илы, пески, глины и галька. В различных соотношениях могут образовываться отложения песчано-галечные, суглинки, супеси, песчано-илистые и т.д. Для шельфа дальневосточных морей породы донных отложений представлены следующими видами, %: илы — 8, пески — 40, глины — 18, галька — 16, прочие — 18. Валунные встречаются в пределах 4–6 % в разрезе пробуренных скважин и 10–12 % скважин от общего их количества [7].

Мощность рыхлых отложений редко превышает 50 м и

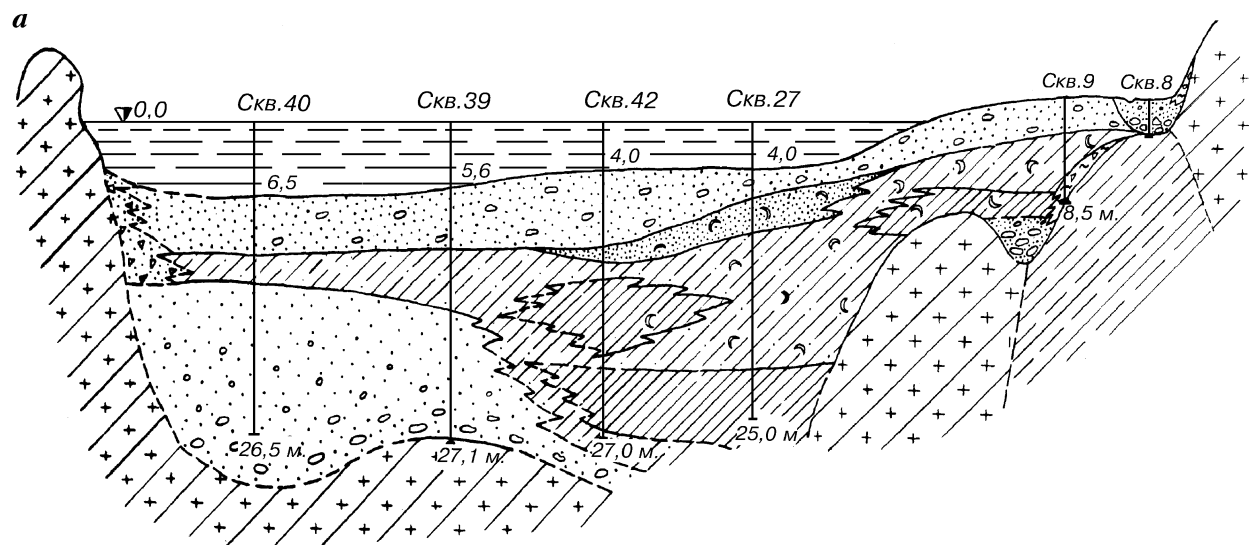
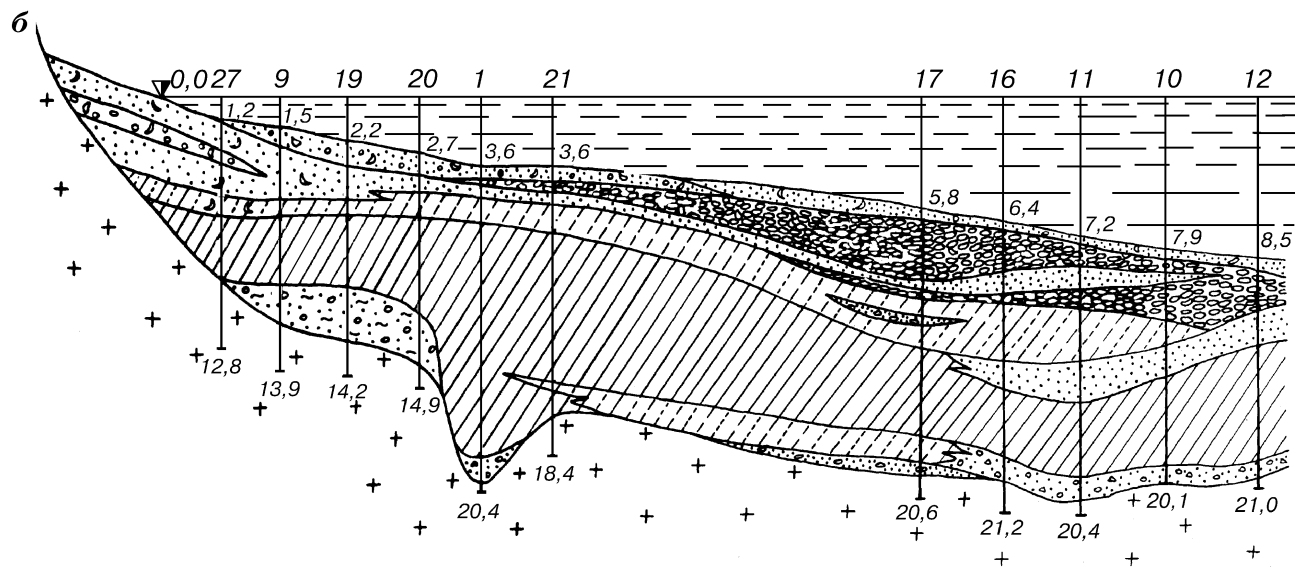


Рис. 2. Литологические разрезы (†, ·, ·) акваторий Японского моря
 1 — валуны, галечники, гравий; 2 — пески разнотерные; 3 — алевроиты крупные песчаные; 4 — илы мелкоалевритовые; 5 — ракушечный детрит, ракушечник; 6 — глина, суглинок; 7 — гранитная дресва; 8 — кора выветривания гранитов



6

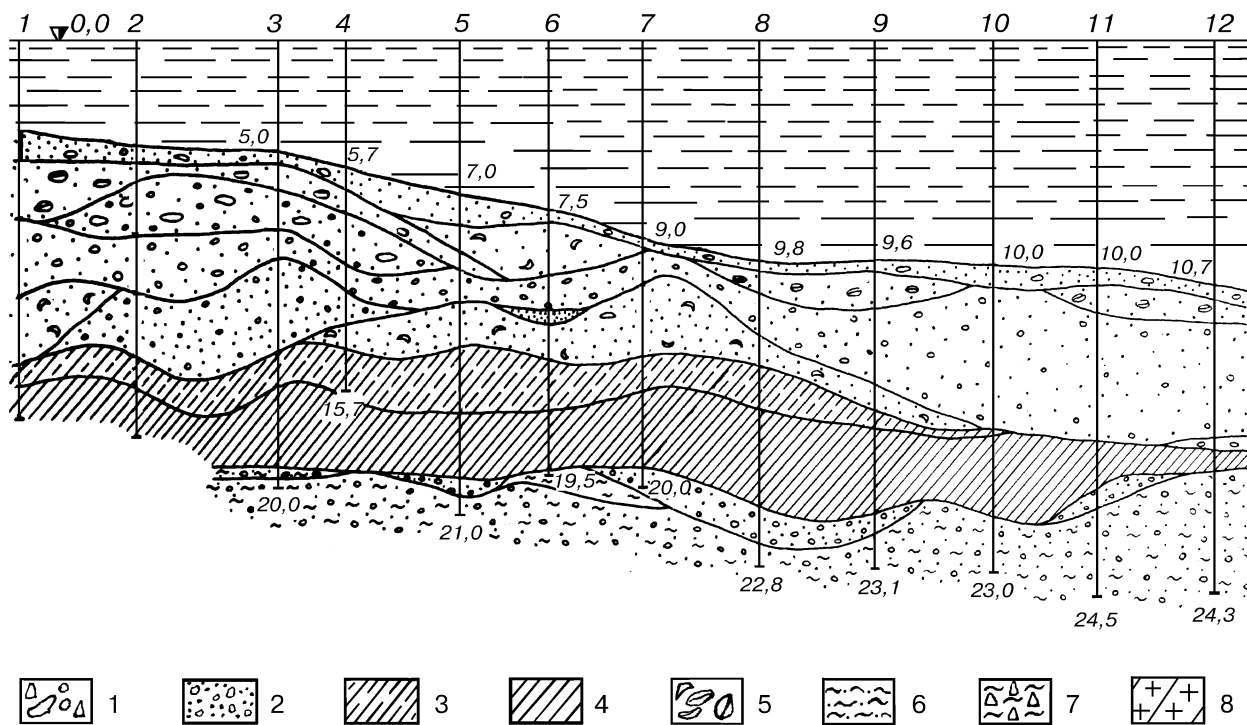


Рис. 2. Продолжение

изменяется от 2 до 100 м. Мощность прослоек тех или иных пород колеблется от нескольких сантиметров до десятков метров, а интервалы их проявления по глубине не подчиняются никакой закономерности, за исключением илов, которые находятся в большинстве случаев на поверхности дна, достигая в "спокойных" закрытых бухтах 45 м.

Илы в верхних слоях находятся в разжиженном состоянии, на больших глубинах несколько уплотнены: сопротивление сдвигу 16–98 кПа; угол внутреннего трения 4–26°; пористость 50–83 %; влажность 35–90 %. Пески имеют сцепление, практически равное нулю, угол внутреннего трения 22–32°, пористость 37–45 %. Сопротивление сдвигу глин составляет 60–600 кПа; показатель консистенции 0,18–1,70; пористость 40–55 %; влажность 25–48 % [7].

Породы донных отложений, за исключением глин, несвязные и легко разрушаются при бурении (II–IV категорий по буримости). Стенки скважин крайне неустойчивы и без крепления после их обнажения обрушиваются. Нередко из-за значительной обводненности пород образуются плавуны. Подъем керна с таких горизонтов затруднен, а их бурение возможно преимущественно с опережением забоя скважины обсадными трубами.

Под рыхлыми отложениями залегает кора выветривания коренных пород с включением остроугольных кусков гранитов, диоритов, базальтов и других скальных пород (до XII категории по буримости). Характерные литологические разрезы донных отложений шельфа Японского моря приведены на рис. 2.

1.2. ТРЕБОВАНИЯ К БУРЕНИЮ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА МОРЕ

Во избежание неоправданных затрат на проведение буровых работ с излишней или недостаточной детальностью бурение должно осуществляться с соблюдением предъявляемых к нему геолого-методических требований (ГМТ), основными общими позициями которых для скважин любого назначения являются задачи бурения, глубина и диаметр скважины, технологическая схема и методика бурения, длина рейса и выход керна.

К настоящему времени на шельфах морей России выявлено незначительное количество промышленно перспективных для разработки месторождений твердых полезных ископаемых и нерудных материалов. Поэтому излагаемые здесь требования основываются на предварительных рекомендациях исследователей [23, 47] по методике разведки, опробования и подсчета запасов морских месторождений некоторых полезных ископаемых и на требованиях, предъявляемых к бурению при проведении аналогичных исследований и разведке полезных ископаемых и нерудных материалов в условиях суши.

Из месторождений твердых полезных ископаемых на морском шельфе особенно привлекательны *россыпи*. В них концентрируются благородные и редкие металлы, драгоценные минералы и руды. Минералы, подобные ильмениту и монациту, в рудных количествах концентрируются главным образом в морских россыпях. По данным зарубежной печати, небольшая стоимость добычи подводных россыпей позволяет рентабельно отрабатывать месторождения на дне моря с содержанием полезного ископаемого компонента в 3–5 раз ниже, чем на суше. Обусловлено это прежде всего тем, что в морских россыпях процессы дробления и обогащения, затраты на которые составляют 75 % и более от суммы всех затрат на добычу сырья, выполнены самой природой.

Примером, подтверждающим эффективность разработки морских россыпей, является добыча алмазов в одном из районов шельфа Южной Африки. Добыча алмазоносного гравия осуществляется здесь смонтированной на судне эжекторно-эрлифтной установкой с производительностью по грунту 300 т/ч. После обогащения на судовой установке отходы сбрасываются за борт на выработанном участке. При стоимости суточного содержания судна 5500 долл. стоимость продукта оценивается в 75 000 долл. Считается, что даже при подаче пульпы с алмазосодержащим гравием с судна на береговую установку добыча алмазов в море будет обходиться дешевле разработки их месторождений на суше [48].

Удаление скважин от суши и соответственно площади разведываемых акваторий определяются миграционной способностью россыпи, зависящей от плотности и размеров составляющих ее минералов. Минералы россыпей касситерита, золота и платиноидов обладают большой плотностью ($7 \cdot 10^3$ кг/м³ и более) и встречаются на удалении от коренного

источника не более 20–40 км. Вторая группа минералов (ильменит, рутил, циркон, монацит, магнетит, хромит и др.) с плотностью $(4-7) \cdot 10^3$ кг/м³ может формироваться на удалении от коренных источников в десятки, иногда сотни километров. В третью группу входят минералы с плотностью менее $4 \cdot 10^3$ кг/м³ (алмаз, сапфир, рубин, александрит, шпинель и т.д.). Их россыпи могут формироваться на удалении до 1000 км от коренного источника [23].

По данным [47], россыпи в море распространяются до изобат 100–120 м, мористее россыпи золота и касситерита могут находиться только в погребенном состоянии. Следовательно, глубины скважин по воде при разведке россыпей не превышают 120 м, так как поиски россыпей обычно распространяются до тех глубин моря, глубже которых они не встречаются.

Глубину скважины ниже дна моря определяют исходя из того, что в соответствии с ГМТ она должна подсесть коренные породы (плотик) и углубиться в них на 1–2 м для получения достоверных данных. Мощности рыхлых образований на месторождениях россыпей обычно не превышают 100 м (чаще всего 15–20 м).

Диаметр бурения и углубление за рейс при разведке россыпей устанавливают в зависимости от вида полезного ископаемого, стадии разведки, назначения опробования, внутреннего строения продуктивных отложений россыпи, размеров, количества и особенностей пространственного распределения зерен полезных минералов в продуктивных отложениях, возможных мощностей пустых прослоев. В общем случае порядок увеличения диаметра бурения в зависимости от вида полезного ископаемого следующий: магнетит, титано-циркониевые минералы, касситерит, минералы группы танталит-колумбита, золото, алмазы.

В соответствии с инструкциями по применению классификации запасов к россыпным месторождениям суши при детальной разведке россыпей золота и платины данные по скважинам, пробуренным диаметром менее 0,5 м, подлежат проверке сопряженными шурфами. Число шурфов должно составлять 5–10 % от числа скважин, пробуренных в пределах промышленного контура россыпи. При разведке россыпей олова и редких металлов можно ограничиться бурением скважин диаметром 0,1–0,2 м ударным способом.

В морских продуктивных отложениях зерна полезных минералов распределены более равномерно, чем на суше. По-

этому диаметры бурения при разведке морских россыпей могут быть меньшими, чем при разведке россыпей суши. В соответствии с рекомендациями [23] при детальной разведке морских россыпей золота диаметры скважин достаточно выдерживать в пределах 0,22–0,25 м. Дальнейшее увеличение диаметра бурения незначительно повышает точность оценки месторождения, но существенно затрудняет сооружение скважин. На стадии поисков морских россыпей многих видов минерального сырья, за исключением алмазов, эти же исследователи рекомендуют бурить скважины диаметром 0,12–0,15 м. В связи с этим на поисково-оценочных стадиях разведки россыпей на акваториях дальневосточных морей бурение ведут с обсадкой скважины трубами диаметром 0,168 м.

Бурение скважин с целью поисков алмазов даже в породах VII–XII категорий по буримости должно осуществляться диаметром не менее 0,112 м, несмотря на технические трудности, обусловленные прежде всего отсутствием серийно выпускаемых алмазных коронок больших типоразмеров [65].

В процессе бурения недопустимо обогащение или обеднение отбираемых проб керна, что важно для подсчета содержания полезного компонента в россыпи. С учетом этого требования бурение необходимо вести с обязательным креплением скважины трубами и поинтервальным опробованием рейсами ограниченной длины. В рыхлых водонасыщенных породах бурение необходимо осуществлять с опережением забоя скважины башмаком обсадных труб, оставляя в них после отбора керна предохранительный целик, который предотвращает поступление пород с забоя в трубы под действием горного и гидростатического давлений. В устойчивых породах достаточна высота предохранительного целика 0,1 м, а в илах и сильноводонасыщенных песчано-гравийных породах она достигает 3,0 м. При бурении в твердых породах допускается их разрыхление на глубину 0,2 м ниже башмака обсадных труб с последующим заглублением труб и извлечением из них разрушенной породы.

В соответствии с рекомендациями [23] углубление за рейс при разведке золотоносных россыпей может составлять 0,2–0,4 м, титано-циркониевых – 0,2–0,5 м, титано-магнетитовых и касситеритовых – 0,5–1,0 м.

Оценивая влияние длины рейса при разведке россыпных месторождений на показатели процесса бурения ударно-канатным способом в различных породах, исследователи [28,

54] отмечают, что при углублении за рейс на 0,2 м обеспечивается наиболее полное извлечение породы и металла с минимальной растяжкой пласта и извлекается проба, состоящая из более крупных фракций. При погружении обсадных труб в целик более чем на 0,2–0,5 м перед башмаком труб образуется пробка, препятствующая дальнейшему нормальному поступлению породы в трубы. В связи с этим рекомендуется: опробование продуктивной толщи производить рейсами длиной не более 0,2 м; при бурении "пустых" пород длину рейса увеличивать до 0,5–1,0 м, что повысит скорость бурения; величина погружения обсадных труб в целик забоя при бурении по схеме с последующим отбором породы из труб должна строго соответствовать интервалам опробования и не превышать 0,2–0,5 м, что повышает качество отбираемых проб.

Для разработки морских погребенных россыпных месторождений металлов, алмазов, других драгоценных камней, а также янтаря перспективны скважинные геотехнологические методы. Диаметр геотехнологических скважин определяется размерами опускаемого в них добычного оборудования и рекомендуется не менее 0,25 м. Глубины этих скважин такие же, как разведочных на конкретный вид полезного ископаемого, т.е. не превышают 100 м от дна моря.

Скважину чисто добычного назначения бурят сплошным забоем гидромеханическим способом с выносом пород на поверхность потоком воды, что существенно повышает производительность бурения. На янтароносных и алмазоносных месторождениях в рыхлых породах чаще бурят разведочно-эксплуатационные скважины. В этом случае за 2–3 м до кровли пласта с полезным ископаемым, по всей его мощности и на 2–3 м ниже пласта (границы залегания известны по данным предварительных геофизических исследований) бурение осуществляют с поинтервальным отбором кернa по технологической схеме разведки россыпей. При этом диаметр скважины выдерживают в пределах требований, предъявляемых к диаметрам геотехнологических скважин.

Техника и технология для бурения таких разведочно-эксплуатационных скважин в рыхлых породах разработана авторами и успешно апробирована совместно со специалистами ВНИПИгорцветмета на янтароносном месторождении Балтийского моря. Бурение осуществляли ударным и вращательным способами с борта научно-исследовательского судна "Шельф-1". Диаметр скважин по обсадным трубам (кон-

дуктору) составлял 0,325 м, максимальные глубины по воде достигали 12 м, по породам — 17,5 м.

Из других месторождений твердых полезных ископаемых разведываются и разрабатываются на шельфе месторождения каменного угля. Глубина залегания угольных пластов на шельфе достигает сотен метров от дна моря. В классификации горных пород по трудности отбора керна угли относятся к I и II группам пород и требуют бурения по ним укороченными рейсами до 0,5 м коронками диаметром не менее 0,076 м [50].

Вблизи берегов Шотландии бурением выявлены большие запасы угля в виде пластов мощностью от 1,5 до 2,1 м. Бурение вели с плавучей установки вращательным способом алмазными коронками диаметром 0,152 и 0,130 м. Моторесурс одной алмазной коронки составлял в среднем 500 м. Глубина пробуриваемых скважин достигала 750 м [15].

Близкими к параметрам разведочных скважин на уголь являются параметры структурно-картировочных скважин: минимальный диаметр бурения 0,059 м, глубина по воде до 300 м, по породам — до 300 м и более. Длина рейсов при бурении структурно-картировочных скважин может быть любой и определяется механической скоростью бурения в рейсе и выходом керна.

Морские недра располагают крупнейшими месторождениями нерудного сырья, главным образом песка, гравия и ракушечника. Потребность в них для строительства различного рода сооружений огромная. Ракушечник после соответствующей переработки используют также в качестве полезных добавок к корму для птиц.

При разведке месторождений строительных материалов важно сохранить гранулометрический и компонентный состав керна и исключить вымывание из него тонкодисперсного материала, т.е. не допустить искажения качества сырья, характеризуемого количеством глинистых примазок. Из-за трудности предотвращения вымывания тонкодисперсных материалов из песчаных и гравийно-галечниковых отложений диаметр выбуриваемого из них керна желательно выдерживать не менее 0,1 м. Углубление в рейсе допускается до 2 м и больше.

Мощность продуктивных пластов нерудных материалов достигает десятков метров. Глубины акваторий, представляющих интерес для разведки месторождений нерудного сырья, ограничены пока возможностями способов и технических средств для их эффективной разработки. С увеличением глу-

бины разработки резко снижаются ее производительность и КПД, возрастают затраты энергии. Так, при повышении глубины разработки с 10 до 40 м производительность драги снижается примерно в 2 раза [47]. Для добычи абразивных строительных материалов на море перспективно использование эрлифтных установок. Наиболее эффективная глубина применения эрлифта — в пределах 40 м [36]. Указанный предел является определяющим при обосновании глубины разведочной скважины на нерудные материалы по воде и породам.

В интервалы диаметров и глубин разведочных скважин на твердые полезные ископаемые вписываются параметры инженерно-геологических скважин. Их глубина на суше составляет обычно 10–20 м. На море из-за интенсивности внешних ветровых и волновых нагрузок, подводных течений, подмывающих фундаменты сооружений, и обводненности донных грунтов глубины инженерно-геологических скважин во много раз больше. Максимальные глубины (до 200 м от поверхности дна) необходимы при инженерных изысканиях под нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения, что обусловлено их значительной высотой, массой и концентрацией больших нагрузок на опоры.

Важнейшая особенность инженерно-геологических исследований на море состоит также в том, что здесь основной задачей бурения является не только и не столько получение проб грунта (монолитов), сколько обеспечение возможности проведения различных геотехнических исследований непосредственно в стволе скважины с целью определения физико-механических свойств грунтов в условиях их естественного залегания. Большинство натуральных способов определения свойств грунтов основано на вдавливании в них соответствующих наконечников (статическое зондирование, лопастный срез и др.), что оказывает влияние на выбор диаметров бурового технического комплекса и скважины.

Технически и технологически наиболее оправданным является использование буровых комплексов, основанных на применении в качестве бурового инструмента гладкопроходных бурильных труб большого диаметра взамен обычных геолого-разведочных, используемых в сухопутном инженерно-геологическом бурении. Наибольшее распространение на море получили бурильные трубы нефтяного сортамента диаметром 0,127 м [55]. Соответственно диаметр скважины не может быть меньше 0,132 м.

В настоящее время представляют интерес акватории с глубинами преимущественно до 200 м. В перспективе необходимо бурение инженерно-геологических скважин и на больших глубинах, так как в настоящее время добыча нефти и газа возможна на глубине моря 500 м и более [55].

В интервалы параметров указанных скважин вписываются параметры различного рода технических скважин. Например, в некоторых странах вынашиваются экологически опасные идеи захоронения при помощи скважин в породах морского дна радиоактивных отходов. По представлениям авторов этих идей, для безопасного захоронения отходов такие скважины необходимо бурить диаметром примерно 0,15 м на всю мощность рыхлых отложений, т.е. на глубину по породам около 40 м, на значительном удалении от побережий на глубинах акваторий более 80 м.

Установленные геологические разрезы и глубины разведываемых акваторий, геолого-методические и эксплуатационно-технические требования к бурению скважин рассмотренных целевых назначений определяют следующие их параметры:

Максимальная глубина скважины, м:	
по воде/по породам.....	300/300
Диаметр скважины в рыхлых отложениях, м:	
максимальный.....	0,325/0,351*
минимальный.....	0,146/0,166*
Диаметр скважины в коренных породах, м:	
максимальный.....	0,131
минимальный.....	0,059

Скважины рассмотренных назначений отличаются глубиной по воде и по породам. По этому показателю их можно разделить на две группы. Первая группа охватывает скважины, основной объем бурения которых приходится на рыхлые породы. К ней относятся скважины разведочные на стройматериалы и россыпи, геотехнологические, технические и большая часть инженерно-геологических. Обычно их глубины не превышают 100 м и по воде и по породам. Наиболее часто глубина скважин этой группы по породам составляет не более 30 м.

Ко второй группе можно отнести скважины структурно-картировочные, разведочные на уголь и другие твердые полезные ископаемые и инженерно-геологические с глубинами бурения более 100 м по породам. Глубина скважин второй

*Здесь и далее указан наружный диаметр: в числителе — труб, в знаменателе — муфт.

группы достигает 300 м по воде и 300 м по породам. Их количество в практике бурения на порядок меньше, чем скважин первой группы. Однако на долю каждой скважины второй группы приходится значительно большие объемы бурения в коренных породах, чем на долю скважины первой группы.

Процессы бурения скважин первой и второй групп, даже существенно различающихся по глубинам, имеют много общего, так как каждую из них необходимо:

бурить по породам различной крепости, так как почти все скважины должны внедряться в коренные породы. Даже при разведке строительных материалов приходится разбуривать чередующиеся песчаные и гравийно-галечниковые отложения, которые также существенно отличаются между собой по крепости и буримости;

бурить по рыхлым породам с опережением забоя обсадными трубами из-за неустойчивости стенок скважины в обводненных и набухающих при вскрытии в воде породах;

забуривать сравнительно большим диаметром.

В требованиях к бурению скважин структурно-картировочных, инженерно-геологических и разведочных на уголь указаны минимально необходимые диаметры бурения с применением поверхностных вращателей и обычных одинарных колонковых снарядов. Практически же часто с целью уменьшения влияния качки плавсредства на процесс бурения для вращения колонкового снаряда используют забойные вращатели (турбобуры или винтовые двигатели), а с целью сокращения затрат времени на спуско-подъемные операции — снаряды со съёмными керноприемниками. В этих случаях для получения керна необходимого диаметра диаметр скважины должен быть значительно большим, чем при бурении с применением поверхностных вращателей и обычных колонковых снарядов. Например, специалистами ДонГТУ созданы снаряды со съёмными грунтоносами для бурения с научно-исследовательского судна "Диабаз" скважин на глубину до 150 м по породам при глубине акваторий до 150 м. В состав разработанных снарядов входят бурильные трубы диаметром 0,114 м, утяжеленные бурильные трубы диаметром 0,140 м, колонковые бурильные головки диаметром 0,151–0,214 м, съёмные грунтоносы диаметром не более 0,089 м [40].

Кроме того, скважины структурно-картировочные, инженерно-геологические и разведочные на уголь из-за их сравнительно больших глубин и повышенной обводненности верхних горизонтов рыхлых отложений имеют двух- или трех-

ступенчатое изменение увеличивающихся к устью диаметров. Поэтому начальные их диаметры близки к диаметрам скважин разведочных на россыпи, геотехнологических и технических, при бурении которых в породы обычно погружают колонну обсадных труб одного диаметра.

Схожие условия сооружения и близость диаметров разведочных скважин рассматриваемых назначений позволяют использовать для их бурения одинаковые способы и типы оборудования.

1.3. РАЦИОНАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА МОРЕ

Рациональным является такой способ бурения скважины, который обеспечивает достаточно качественное выполнение поставленной задачи при минимальных трудовых и материальных затратах. Выбор такого способа бурения базируется на сравнительной оценке его эффективности, определяемой многими факторами, каждый из которых в зависимости от геолого-методических требований, назначения и условий бурения может иметь решающее значение.

Б.М. Ребрик рекомендует рассматривать эффективность способа бурения как комплексное понятие и объединять факторы в группы, отражающие существенную сторону процесса бурения скважины или характеризующие предназначенные для этой цели технические средства. В частности, он предлагает эффективность способа бурения инженерно-геологических скважин определять по трем группам факторов: инженерно-геологическим, техническим и экономическим [42].

Принципиально указанная группировка приемлема и для бурения скважин других назначений. При выборе рационального способа бурения оценивать его следует прежде всего и главным образом по фактору, отражающему целевое назначение скважины. При выявлении двух и более способов бурения, обеспечивающих пусть даже различное, но достаточное качество выполнения поставленной задачи, следует продолжить их оценку по другим факторам. Если сравниваемые способы не обеспечивают качественного решения геологической или технической задачи, ради которой осуществляется бурение, то оценивать их, например, по производительности и экономической эффективности не имеет практического смысла.

Факторы, влияющие на процесс и эффективность бурения на море, специфические (см. рис. 1). Они ограничивают или вовсе исключают возможность применения некоторых способов и технических средств, признанных эффективными для бурения скважин того же назначения на суше. Исходя из этого эффективность способов бурения разведочных скважин на море предложено оценивать по четырем показателям: геологической информативности, эксплуатационно-технологическим возможностям, технической эффективности, экономической эффективности [7].

Геологическая информативность определяется конкретными задачами бурения разведочных скважин. При разведке месторождений полезных ископаемых геологическую информативность способов бурения оценивают по качеству отбираемого керна. КERN должен обеспечивать получение геологического разреза и фактических параметров месторождения: литологического и гранулометрического состава разбуриваемых отложений, их обводненности, границ продуктивного пласта, крупности находящегося в нем металла (при разведке россыпей), содержания полезного компонента, содержания тонкодисперсного материала и глинистых примазок (при разведке стройматериалов) и т.п. Для точного определения этих параметров необходимо предотвратить обогащение или обеднение отбираемых проб керна по каждому интервалу опробования.

Геологическую информативность способов бурения при инженерно-геологических изысканиях оценивают по возможности определения физико-механических свойств грунтов, находящихся в естественном, природном залегании. Достигают этого путем выбуривания проб грунтов (монолитов) и исследования их свойств в специальных лабораториях или определением свойств грунтов непосредственно в стволе скважины. Последний способ перспективнее, так как может обеспечить более быстрое и качественное получение результатов исследований.

При бурении геотехнологических и технических скважин получаемая геологическая информация в большинстве случаев не представляет практического интереса. Поэтому при выборе способа бурения этих скважин показатель его геологической информативности не учитывают и требования к ее содержанию отсутствуют.

Эксплуатационно-технологические возможности способа определяются его способностью обеспечивать эффективную проходку скважины требуемых параметров в определенных

условиях. Практически любым из известных способов можно бурить на море, в том числе проходить шурфы и бурить шурфоскважины. Но вряд ли можно ориентироваться на использование шурфов и шурфоскважин на море в качестве геолого-разведочных горных выработок, так как заведомо ясно, что на их сооружение потребуются большие материальные затраты. Некоторые способы и технологии, успешно применяемые для бурения скважин на суше, в условиях моря не обеспечивают выполнения геологических требований, так как не позволяют получать керн достаточного качества и объема. Например, при бурении на акваториях шнеками и другими снарядами, в которых выбуриваемые породы надежно не предохранены от выпадения (ложковые, спиральные и ковшовые буры, змеевики, ячеистые стаканы), в интервале водного слоя между дном и поверхностью моря керн вымывается из таких снарядов при их извлечении из скважины.

Таким образом, эксплуатационно-технологические возможности способа бурения определяются качеством выполнения поставленной задачи, его технической и экономической эффективностью.

Критериями оценки технической эффективности являются: мгновенная, средняя, рейсовая, техническая, парковая, цикловая скорости бурения; производительность за смену, сезон; время выполнения отдельных операций, проходки всей скважины или отдельного ее интервала; износ оборудования, обсадных труб и инструмента; универсальность; металлоемкость; энергоемкость; мощность; транспортабельность бурового оборудования и др.

Все виды скоростей и производительность бурения определяются затратами времени на выполнение того или иного процесса или операции. При выборе способа бурения для условий моря фактор времени является одним из важнейших критериев. Используя высокоскоростные способы и технологии бурения, многие из разведочных скважин можно начать и закончить бурить в периоды хорошей погоды и в течение светлого времени дня. Это позволит избежать аварийных ситуаций, возникающих в случае консервации недобуренной скважины из-за наступления ночи, шторма и т.п.

Критерии экономической эффективности включают в себя показатели, характеризующие затраты в рублях. Важнейшие из этих критериев — стоимость 1 м бурения, стоимость сооружения всей скважины или отдельного ее интервала, в большой степени зависящие от технической эффективности. К ним же могут быть отнесены критерии, характеризующие

затраты на содержание вспомогательных плавсредств, расход различных материалов, которые быстро изнашиваются при использовании их в сложных гидрологических и агрессивных условиях моря (например, обсадных и бурильных труб, тросовой оснастки буровых и якорных лебедок и т.д.).

Таким образом, выбор рациональных способов, технологий и техники для бурения разведочных скважин на море необходимо осуществлять путем сопоставления известных и новых способов по комплексу критериев эффективности. Главенствующая роль того или иного критерия зависит от конкретного назначения скважины. Для бурения инженерно-геологических и геолого-разведочных скважин на твердые полезные ископаемые главным из этих критериев является геологическая информативность, остальные критерии имеют подчиненный характер. Поэтому для бурения таких скважин методологически правильно оценивать сравниваемые способы в первую очередь по геологической информативности. Для бурения геотехнологических и технических скважин предпочтение следует отдавать так называемому Т-критерию (минимум времени бурения скважины).

1.3.1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ СПОСОБОВ БУРЕНИЯ

Чаще всего геологические разрезы представлены с поверхности рыхлыми породами, которые на море сильно водонасыщены и характеризуются неустойчивостью при вскрытии их скважиной. Бурение в таких породах разведочных скважин любого назначения должно осуществляться с опережением забоя обсадными трубами.

Анализ известных способов бурения показывает, что применительно к условиям работы на акваториях только ударный, вибрационный и вдавливающий способы обеспечивают бурение в рыхлых породах с опережающей обсадкой скважины трубами. Качество отбираемых проб керна рыхлых пород при бурении этими способами исследовано экспериментально и подтверждено практикой.

Модельные исследования выхода керна при погружении обсадных труб в породы ударным и виброударным способами в пляжной зоне были выполнены с использованием буровой установки БУВ-1Б. Для оценки способов по миграции элементов тяжелых фракций в нижележащие горизонты в разъемную трубу, погружаемую в породы на глубину 1,5 м (длина рейса), засыпали чугунную дробь. Контроль качества

отбираемого керна осуществляли вскрытием скважин шурфами, а фиксацию положения слоев пород в скважине и шурфе — фотографированием [59]. В результате исследований установлено следующее.

1. При погружении трубы в породы ударами форма слоев внутри трубы и в шурфе не изменяется, дробь по контакту между трубой и керном проникает на глубину до 0,35 м. При вибропогружении слои пород на контактах с внутренней и наружной поверхностями трубы смещаются в направлении ее погружения и дробь по контакту между трубой и керном проникает на глубину до 0,70 м. Следовательно, при виброударном способе элементы тяжелых фракций в большей степени, чем при ударном, склонны к миграции.

2. Породы в трубе после погружения ее в них ударами как забивного снаряда, так и вибромолота уплотняются. Общее уменьшение мощности выбуренной породы при ударном способе в 2,2 раза больше, чем при виброударном. Это свидетельствует о проявлении свайного эффекта и о том, что величина его в сухой скважине при ударном бурении больше, чем при виброударном. Такой вывод согласуется с результатами исследований Д.Н. Башкатова, Б.М. Гуменского, Н.С. Комарова, Б.М. Ребрика.

Противоположные зависимости выхода керна выявлены при погружении труб на море: линейная потеря керна при ударном способе меньше, чем при виброударном, причем при погружении каждым из сравниваемых способов она больше, чем на суше. Для выяснения причин такого положения выполнен цикл опытов с погружением труб ударным и виброударным способами по обычной технологии и с предварительным удалением воды из полости труб. По результатам исследований сделан вывод, что при погружении в породы колонны труб с находящимся в ней столбом воды у забоя повышается гидродинамическое давление, уплотняющее породы и выдавливающее часть их из колонны [59].

Подтверждением такого вывода являются случаи разрушения железобетонных свай-оболочек, погружаемых вибромеханизмами при строительстве морских портов. Л.И. Афанасьев, И.Л. Крымский, М.Г. Цейтлин и др. установили, что динамическое воздействие воды вызывает напряжения в стенках свай-оболочек, которые в 1,6 раза превосходят допустимое сопротивление растяжению бетона марки 400 и разрушают сваю на контакте воды и пород забоя.

Бурение с очисткой обсадной колонны от воды малоэффективно, так как после очистки вода заполняет колонну

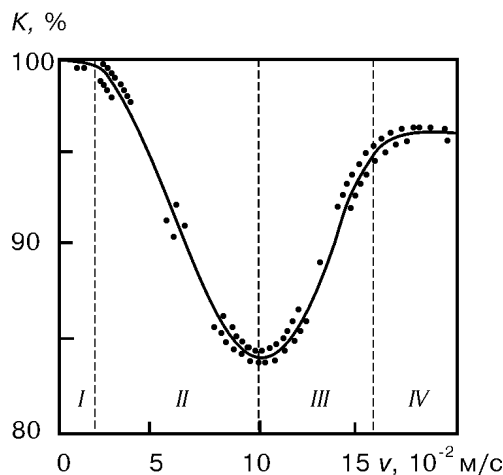
через резьбовые соединения и поступает с забоя. Кроме того, понижение уровня воды в скважине по сравнению с уровнем моря создает перепад гидростатического давления, под действием которого при бурении водоносных горизонтов в колонну выдавливаются породы, находящиеся ниже ее башмака, и искажают геологическую информацию.

При погружении труб в породы на море ударным способом установлено, что величины уплотнения и отжатия пород забоя из труб зависят не только от рейсового заглубления труб, но и от скорости их погружения. В эксперименте быстрое погружение колонны труб в обводненные илы и алевроиты достигалось сбрасыванием ее с высоты 3,5–4,5 м над дном моря при расторможенной лебедке, медленное — спуском колонны с тормоза лебедки со скоростью 0,02–0,03 м/с. При быстром погружении труб в породы скорость движения колонны массой 1400 кг уменьшалась с 8–7 до 3–2 м/с, а колонны массой 400 кг — с 7–6 м/с до остановки.

В результате установлено, что влияние скорости погружения колонны в обводненные породы на выход керна не монотонно: по мере увеличения скорости погружения выход керна сначала падает, затем увеличивается и далее остается почти постоянным. По характеру зависимость выхода керна от скорости погружения колонны можно разделить на четыре участка. Для условий погружения колонны диаметром 0,168/0,150 м в породы на глубину 2 м эти участки характеризуются (рис. 3): I — отсутствием линейной потери керна при скоростях погружения до 0,02 м/с; II — уменьшением выхода керна по высоте со 100 до 85 % соответственно росту скорости от 0,02 до 0,10 м/с; III — увеличением выхода керна с 85 до 95 % соответственно увеличению скорости от 0,10 до 0,16 м/с; IV — стабильностью линейной потери керна в пределах до 5 % при скорости погружения колонны более 0,16 м/с [57].

Такой характер кернаобразования можно объяснить следующим. В процессе погружения колонны в породы на контакте ее внутренних стенок с находящимися в ней водой и породами возникает сопротивление трения, вовлекающее воду и породы в движение колонны. При сравнительно малых скоростях движения колонны силы трения на контакте колонна–вода и породы малы и не вовлекают породы в движение, не уплотняют их и не отжимают из колонны (I участок). С увеличением скорости погружения эти силы растут и вовлекают находящиеся в колонне породы в движение, уплотняют их, частично отжимают в забой и выход керна

Рис. 3. Экспериментальная зависимость выхода керна K от скорости погружения v труб в породы при заглублении в рейсе 2 м: I, II, III, IV — характерные участки зависимости



уменьшается (II участок). Однако из-за инерционности пород скорость их движения меньше скорости колонны. Поэтому при дальнейшем увеличении скорости движения колонны (III участок) ее башмак опережает уплотняющиеся слои пород и частично предотвращает их выдавливание в забой. При скоростях движения колонны IV участка поступающие в нее породы преимущественно уплотняются.

Таким образом, при рейсовом погружении колонны труб в обводненные породы на 2 м наибольший процент выхода керна обеспечивает режим погружения I участка ($v < 0,02$ м/с) и всего на 3–4 % меньше — IV ($v > 0,16$ м/с). Режим I участка благоприятен для погружения труб вдавливанием. Погружение ударами в этом режиме трудноосуществимо, поэтому рациональным по выходу керна при ударном бурении является режим погружения труб в породы IV участка.

Выполненные исследования показывают, что наименьшее искажение качества керна наблюдается при погружении труб в породы вдавливанием, несколько большее — ударами. Однако после погружения обсадной колонны труб в породы следует процесс извлечения из труб поступивших в них пород. При бурении вдавливанием этот процесс заключается во вдавливании в породы тонкостенного грунтоноса. Влияние этого процесса на качество получаемого керна такое же незначительное, как и при вдавливании в породы обсадных труб. Ударный способ бурения в зависимости от способа от-

бора керна подразделяют на ударный сплошным забоем, клюющий кольцевым забоем и ударно-забивной или просто забивной кольцевым забоем.

Ударное бурение сплошным забоем заключается в разрушении пород забоя долотами, удалении продуктов разрушения желонками и получении образцов пород в виде шлама. Из-за наличия в скважине воды (в большинстве случаев до уровня моря) часть выбуриваемых пород в процессе желонирования оказывается во взвешенном состоянии и частично теряется с водой, изливающейся из колонны труб при извлечении из нее желонки. В результате уменьшается объем извлекаемых проб и искажается геологическая информативность. Так, при бурении в песчано-глинистых отложениях с содержанием гальки до 20 % объем пробы после желонирования интервала 0,2 м получается в 3–4 раза меньше объема пробуренного интервала. В связи с этим на ударное бурение сплошным забоем на море переходят только при необходимости разрушения встречающихся валунов и крепких пород.

Клюющий способ бурения заключается в том, что буровой снаряд, включающий жестко соединенные между собой керноприемный стакан и утяжеленную трубу, сбрасывают на забой с некоторой высоты; стакан углубляется в породу, затем снаряд поднимают на поверхность для отбора керна из стакана. Величина углубления стакана в породы в рейсе зависит от энергии удара снаряда о забой. При бурении этим способом на море достичь значений энергии удара, достаточных для погружения стакана в породы на глубину хотя бы 0,1–0,2 м, трудно, так как буровой снаряд движется в скважине, заполненной водой, и испытывает большие гидравлические сопротивления движению. Поэтому на море этот способ бурения не применяют.

Основной разновидностью ударного бурения в рыхлых породах на море является забивной способ, обеспечивающий получение образцов пород в виде керна. Отбор керна при этом осуществляется нанесением ударов по трубчатому керноприемнику, снабженному упроченным кольцевым башмаком, который выполняет роль породоразрушающего инструмента. Выход керна при отборе его из обсадной колонны забивными керноприемниками примерно такой же, как и при отборе его вдавливаемыми грунтоносами.

Таким образом, наибольший выход керна рыхлых пород на море имеет место при вдавливающем способе бурения со скоростью погружения обсадных труб и грунтоносов в

породы менее 0,02 м/с и всего на 3–4 % меньше при забивном способе со скоростью погружения обсадных труб и забивных керноприемных снарядов в породы более 0,16 м/с.

Однако ударно-забивной способ позволяет бурить разведочные скважины любых необходимых диаметров в рыхлых, крепких и перемежающейся крепости породах. Бурение вдавливанием экономически оправдано только диаметром до 0,108 м и только в рыхлых отложениях без включения гальки и валунов и поэтому не вполне отвечает обобщенным ГМТ, предъявляемым к бурению разведочных скважин. В то же время при бурении вдавливанием наиболее легко применимы и совершенны пенетрационно-каротажные методы исследования физико-механических свойств песчано-глинистых грунтов малой твердости в условиях их естественного залегания под водой, что очень ценно при проведении инженерных изысканий.

При бурении многих видов разведочных скважин требуется внедрение в коренные породы (структурные, разведочные на россыпи, уголь и т.д.). Выбуривание керна из таких пород возможно только вращательным способом. Это единственный способ производительного бурения, обеспечивающий получение качественного керна в твердых и крепких породах. Во многих условиях вращательный способ является незаменимым при инженерно-геологических изысканиях, так как позволяет получать колонки керна мягких и твердых пород без существенного искажения их природных физико-механических свойств.

1.3.2. ОЦЕНКА СПОСОБОВ БУРЕНИЯ ПО КРИТЕРИЯМ ПОДЧИНЕННОГО ХАРАКТЕРА

Опыт бурения разведочных скважин различных параметров на море показывает, что применение наиболее качественных способов бурения — вдавливающего, забивного и вращательного — в определенных условиях моря принципиально возможно. Однако техническая и экономическая эффективность использования этих способов в большой степени зависит от технологических схем и технических средств их осуществления. Поэтому способы бурения, признанные эффективными по главному показателю, следует совершенствовать путем разработки для них новых технологических схем и технических средств применительно к конкретным условиям работы с целью повышения остальных показателей

(удобство и безопасность работы, экологичность, высокая производительность и низкая стоимость бурения).

Например, качество керна, техническая и экономическая эффективность вращательного бурения зависят как от конкретных геологических условий, так и от технологической схемы (с промывкой при различных типах промывочного агента, безнасосное, всухую и т.д.) и соответствующих типов и конструкций колонковых снарядов (одинарные, двойные, эжекторные). Предпочтение следует отдавать технологиям вращательного бурения с промывкой скважины морской водой, причем по схемам обратной призабойной ее циркуляции. Первое снижает стоимость бурения из-за обилия морской воды и по сравнению с промывкой растворами уменьшает степень загрязнения морской среды, а второе повышает качество отбираемого керна.

Показатели технической эффективности в большой степени зависят от типа морской буровой установки (МБУ) и способа бурения. Например, минимально необходимая энерговооруженность ПБУ для забивного бурения определяется энерговооруженностью вспомогательного оборудования, которая бывает больше, чем для бурового привода. Обычно ПБУ оснащают двумя-тремя буровыми и четырьмя якорными лебедками. При определении необходимой для забивного бурения энерговооруженности следует учитывать энергию, потребляемую только одной наиболее мощной лебедкой, независимо от их количества, так как работают они поочередно. В этом случае для забивного бурения с ПБУ "Приморец", работающих в АО "Дальморгеология", даже на выполнение наиболее энергоемких работ, связанных с извлечением обсадных труб из скважин, при котором задействованы одновременно буровая лебедка и вибратор, требуется 37 кВт, а для привода якорных лебедок этой же ПБУ — 52 кВт.

При вращательном бурении дополнительно расходуется электроэнергия на привод вращателя и насоса для промывки скважины. Потребление энергии и металлоемкость оборудования при этом зависят от параметров скважины и типа вращателя. Например, металлоемкость забойного гидровращателя Д-85 в пять раз меньше и потребляет он в два раза меньше энергии, чем самый малый турбобур.

Схемы и технику для бурения необходимо выбирать надежные, но наименее энергоемкие, чтобы уменьшить металлоемкость, снизить затраты на изготовление, работу и амортизацию оборудования.

Транспортабельность ПБУ мало зависит от ее энергово-

оруженности и металлоемкости и не влияет на способ бурения, так как ее буксируют с точки на точку без демонтажа оборудования.

Экономическая эффективность бурения на море зависит от затрат на изготовление и обслуживание МБУ и бурового оборудования, производительности и стоимости бурения. Затраты на изготовление оборудования для бурения разведочных скважин любым способом не превышают 10 % стоимости МБУ. Поэтому снижение стоимости только бурового оборудования не оказывает существенного влияния на экономическую эффективность и выбор способа бурения. Уменьшение же стоимости МБУ ухудшает условия работы, снижает безопасность, экологичность и производительность бурения, увеличивает время простоев из-за метеорологических условий.

На производительность и стоимость бурения любым способом большое влияние оказывает технологическая схема осуществления способа. Целесообразность использования той или иной технологической схемы бурения оценивается возможностью ее обеспечить наиболее быстрое и экономичное выполнение конкретных геологических требований в сложных геолого-технических и гидрометеорологических условиях моря.

Многие породы геологических разрезов на акваториях характеризуются сильной обводненностью, неустойчивостью в стенках скважины, склонностью к набуханию и обрушению, поглощению промывочной жидкости. Бурение в этих условиях по обычным схемам вращательного способа вынуждает усложнять конструкции скважин и повышать их металлоемкость, что приводит к росту стоимости.

Проблема повышения производительности бурения на море является более острой, чем на суше. Это обусловлено тем, что из-за трудных гидрометеорологических условий бурение на море осуществляют не круглогодично, а преимущественно в теплые периоды года, в светлое время суток и при волнении моря до 3 баллов. Это ограниченное время необходимо использовать как можно производительнее для бурения высокоскоростными способами.

Существенное повышение производительности и уменьшение стоимости бурения обеспечивают способы, которые сокращают или вообще исключают затраты времени на спуск и подъем из скважины в каждом рейсе керноприемных снарядов и бурильной колонны с целью отбора керна. Для моря это особенно важно, так как здесь длина опускаемой и под-

нимаемой бурильной колонны больше, чем при бурении на суше, на величину, равную глубине моря в точке заложения скважины.

Высокопроизводительными являются способы бурения с применением съемных керноприемников, опускаемых в скважину и извлекаемых из нее на тросе, а также с гидротранспортированием керна из скважины восходящим потоком промывочной жидкости. Эти же способы позволяют бурить скважины наиболее простых конструкций (одним диаметром от начала до конца бурения), снизить металлоемкость (без крепления стенок скважины колоннами обсадных труб) и стоимость бурения.

Производительность бурения с гидротранспортированием керна самая высокая, так как при этом процессе процессы разрушения пород забоя, крепления стенок скважины трубами и отбора керна совмещены во времени. Эффективность применения этого способа в условиях суши доказана на всех стадиях геолого-разведочных работ, начиная от глубинного геологического картирования и до предварительной и детальной разведки месторождений. Максимальный эффект достигается на поисковых и поисково-оценочных работах. На суше этот способ бурения применяют при поисках редких и цветных металлов, россыпных месторождений золота, бокситов, угля, строительных материалов, нефти и подземных вод.

Процесс бурения с гидротранспортированием керна на море имеет ряд особенностей, затрудняющих его эффективное применение, особенно с плавсредств. Тем не менее при соответствующем совершенствовании техники и технологии этого способа применительно к геологическим и гидрологическим условиям на море он может оказаться наиболее эффективным для бурения множества разведочных скважин.

При бурении технических и геотехнологических скважин качество керна не существенно и он не всегда необходим. Эффективность бурения таких скважин с гидротранспортированием выбуриваемых пород не вызывает сомнений. Бурение скважин любого назначения в твердых и крепких породах с гидротранспортированием их потоком воды обеспечивает получение керна достаточного качества.

Рыхлые породы при вращательном бурении с гидротранспортированием выносятся из скважины потоком воды в виде керношламового материала. Опробование с целью разведки россыпей по разрушенному и перемешанному в интервале рейса керновому материалу возможно. Главное здесь — не

допустить в процессе бурения измельчения содержащихся в породах зерен металла разведываемых полезных ископаемых, миграции элементов тяжелых фракций пород из выше лежащих в нижележащие горизонты, обеднения одних и обогащения других слоев пород.

Для удовлетворения геологических требований к бурению инженерно-геологических скважин необходим керн ненарушенной структуры даже рыхлых пород. Решить такую задачу при бурении с гидротранспортированием возможно, например, путем гидротранспортирования керна из скважины в капсулах. Это повысит качество отбираемого керна, однако снизит скорость и увеличит стоимость бурения, так как потребует соответствующего увеличения диаметров двойной колонны труб и гидравлической мощности промывочного насоса.

Таков принципиальный подход к выбору рациональных способов бурения разведочных скважин на море, в соответствии с которым можно сделать следующие выводы.

1. При выборе рационального способа для бурения разведочных скважин главным показателем его эффективности является геологическая информативность. Показатели эксплуатационно-технологической возможности, технической и экономической эффективности способов, признанных приемлемыми по геологической информативности, также важны, но имеют подчиненный характер.

2. Наиболее рациональными по качеству отбираемого керна при бурении на море являются вдавливающий, ударно-забивной и вращательный способы. Первый целесообразно применять преимущественно для бурения инженерно-геологических скважин диаметром до 0,108 м в породах малой твердости, второй — для бурения скважин любых больших диаметров в рыхлых породах, в том числе перемежающейся крепости, а третий — для разбуривания встречающихся при забивном бурении валунов и бурении скважин необходимых диаметров в твердых и крепких породах.

3. Перспективным с точки зрения повышения производительности и снижения стоимости разведочных работ на акваториях является способ бурения с гидротранспортированием керна твердых и крепких пород (скважины структурно-картировочные, разведочные на твердые полезные ископаемые) и керна материала рыхлых пород (скважины технические, геотехнологические, разведочные на россыпи на поисковой и поисково-оценочной стадиях).

Для решения конкретных задач по выбору рациональных способов и технологических схем бурения необходимо рас-

полагать требуемыми параметрами скважин, геолого-методическими и эксплуатационно-техническими требованиями к их проходке, общими характеристиками пород, условиями и особенностями бурения.

1.4. ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ БУРЕНИЯ НА МОРЕ

Эффективность применения на море способов бурения, признанных рациональными для выполнения геолого-разведочных задач, ниже, чем на суше. Обусловлено это рядом причин: качкой и дрейфом ПБУ, сильной обводненностью и неустойчивостью рыхлых пород разрезов, требованиями недопущения загрязнения окружающей среды, с одной стороны, и трудностью организации замкнутой циркуляции промывочных растворов, с другой, нахождением придонного устья скважины вне видимости бурильщика и обусловленными этим трудностями, повышенным износом бурового оборудования и инструментов из-за работы в агрессивной среде, особенностями способов и схем бурения и т.д.

1.4.1. УДАРНО-ЗАБИВНОЕ БУРЕНИЕ

Традиционная схема ударно-забивного бурения требует выполнения большого количества трудоемких и опасных для жизни людей операций.

Станки с ударными кривошипно-шатунными механизмами на плавучих буровых установках не применяют, так как они не обеспечивают изменения навески снарядов синхронно с качкой установки. Погружают трубы и керноприемники в породы при помощи лебедок, причем обсадную колонну погружают ударами по ее наголовнику снарядом, выполненным в виде монолитного груза с направляющей штангой, скользящей внутри колонны. После погружения колонны на каждые 1–2 м с нее снимают забивной снаряд и рейсами по 0,2–0,5 м при помощи забивных стаканов и желонки из колонны выбирают керн. Затем на колонну, возвышающуюся на несколько метров над палубой установки, снова устанавливают забивной снаряд, что в условиях качки ПБУ трудно и небезопасно.

Из-за опасности раскачивания подвешенного на тросе забивного снаряда максимальное значение его массы ограничивают 600 кг, независимо от диаметра и длины погружаемых в

породы обсадных колонн. Недостаток массы снаряда не позволяет эффективно погружать в породы колонны труб диаметром 0,168/0,188 м, длиной более 20 м. В то же время при бурении на море зачастую для перекрытия слоя воды применяют колонны труб диаметром 0,325/0,351 м, длиной до 200–300 м, которые одновременно используются в качестве обсадных и требуют погружения в породы.

Важной проблемой является снижение потерь энергии удара в погружаемой колонне. На море к потерям на продольные деформации колонны добавляются потери на ее радиальные деформации, обусловленные тем, что в интервале слоя воды колонна не защищена от изгиба. По данным К.И. Иванова, потери энергии на одном соединении эквивалентны потерям на 4–6 м цельной трубы. Длина отдельных труб колонны при бурении на море обычно не превышает 2 м, так как они массивные (толщина стенки 0,008 м и более), а в условиях качки ПБУ трудно наращивать длинные трубы больших диаметров с треугольной резьбой, имеющей угол наклона менее 2°. Поэтому потери энергии удара в колонне длиной, например, 100 м с 50 муфтовыми соединениями достигают 90 % (без учета потерь на радиальные деформации).

Требуют совершенствования при ударно-забивном бурении технические средства и технологии отбора керна.

Забивные керноприемники (ЗК), применяемые при бурении на суше, состоят из керноприемного стакана, жестко соединенной с ним трубчатой направляющей и установленной в ней с возможностью перемещения в пределах до 0,6 м ударной штанги. Применение таких ЗК для бурения с ПБУ неэффективно, так как качка приводит к отрыву стакана от забоя, перемешиванию, растворению в воде и утрате керна; кроме того, энергии удара штанги, падающей с высоты до 0,6 м в заполненной водой трубчатой направляющей, недостаточно для погружения стакана в породы. Увеличение хода штанги удлинит и утяжелит керноприемник, затруднит его обслуживание и снижает производительность бурения.

Экспериментально установлено [7], что при бурении на море по традиционным схемам забивного способа трудно обеспечить высокий выход керна, так как:

часть керна отжимается в забой уже при погружении обсадной колонны труб в породы из-за гидродинамического воздействия на них находящейся в колонне воды и проявления свайного эффекта и поступившие в колонну породы по тем же причинам уплотнены;

керноприемник, забиваемый затем в поступившие в колонну и ограниченные ее стенками породы, дополнительно уплотняет и отжимает их в забой;

в каждом рейсе после извлечения керноприемника на стенках колонны остается уплотненное кольцо пород, которые в последующем рейсе при работе ударной штангой перемешиваются с водой и вместе с ней изливаются из скважины при извлечении керноприемника.

При отборе из колонны керна сильнообводненных пород отмечаются случаи их дополнительного поступления с забоя вследствие уменьшения над ними горного и гидростатического давления. Поступлению пород в колонну способствует разрежение, возникающее над ними в период извлечения из скважины керноприемника, который при подъеме в интервале его погружения движется вверх в уплотненном породном кольце как поршень и засасывает породы забоя в колонну. Похожий процесс наблюдается и в случае свободного от пород кольцевого зазора, но при большой скорости подъема керноприемника, так как только часть находящейся выше него воды успевает перетекать в освободившийся под ним объем по кольцевому зазору, а часть изливается из скважины через верх колонны. Разрежение под поднимаемым керноприемником способствует также выпадению керна из него. Это подтверждается тем, что во многих случаях после извлечения керноприемника скважина почти свободна от воды, упругие лепестки кернодержателя вывернуты наружу и керна в керноприемнике отсутствуют.

Трудности возникают также при забивном бурении в породах с включением галечников и валунов. Здесь при погружении колонны поступающие в нее галечники и валуны расклиниваются и распределяются по всему ее сечению. Последующее погружение в них керноприемника затруднительно, так как галька и валуны не входят в керноприемник из-за расклинивания или если их размеры превышают его диаметр. Смещение гальки и валунов керноприемником в стороны ограничено стенками колонны.

Отбор керна пород, содержащих большое количество валунов и галечников, при бурении на суше осуществляют с применением долот для их разрушения, разжижения в воде и извлечения желонкой в виде шлама. При морском бурении скважина зачастую до уровня моря заполнена водой, которая создает сопротивление движению ударных инструментов, и энергии удара их недостаточно для эффективного разрушения пород. Поэтому при бурении на море в суглинках с

включениями 20 % гравия и гальки на погружение обсадных труб на глубину 10–12 м требуется 15+20 мин, а на отбор пород из труб, поступивших в них из этого интервала, – 3+3,5 ч [7].

Свободна от перечисленных недостатков схема бурения с поинтервальным отбором керна, в которой колонну погружают в породы совместно с зафиксированным в ней кернаприемником. При этом нет необходимости применять долота, так как башмак колонны, армированный твердым сплавом, разрушает или раздвигает в стороны небольшие валуны и галечники и формирует поступающий в кернаприемник цилиндрический столбик керна. Отбор керна у башмака колонны увеличивает его качество и процент выхода, так как породы забоя поступают в кернаприемник без уплотнения, легко и быстро из него извлекаются. Однако практического применения такая схема бурения не получила из-за несовершенства способов и конструкций механизмов фиксации кернаприемника в колонне погружаемых в породы труб. При ударах по колонне элементы механизма жесткой фиксации воспринимают усилия в сотни килоньютон и в них возникают напряжения, превышающие допустимые.

Из-за подводных течений, дрейфа ПБУ, расположения забивных снарядов и механизмов на колонне на большом расстоянии от дна моря трудно обеспечить ее вертикальность при погружении в породы. Авторами экспериментально установлено, что линейная потеря керна при погружении колонны обсадных труб в наклонном положении больше, чем при вертикальном. Это уменьшает выход керна, снижает эффективность погружения и извлечения труб.

1.4.2. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ БУРЕНИЕ

Бурение вращателями роторными и перемещаемыми в вертикальных направляющих вышки. В условиях качки ПБУ наиболее сложно вращательное бурение станками шпиндельного типа. Существующие у них системы принудительных подач, подвески и разгрузки инструментов для условий моря непригодны, так как качка и дрейф ПБУ при жесткой связи ее со станком и последнего с бурильной колонной приводят к изгибам и поломкам труб вследствие смещения оси кронблока от оси скважины, периодическим отрывам бурового снаряда от забоя, утрате и разрушению керна, невозможности поддерживать необходимые режимы бурения. С целью повышения эффективности бурения с ПБУ враща-

тельным способом отечественными и зарубежными специалистами предложен ряд конструктивно-технологических решений.

В АО "Дальморгеология" для бурения с плавсредств разработаны и применяются в производстве два типа вращателей: ВМБ-5 на базе ротора от буровой установки УРБ-3 и перемещаемый в вертикальных направляющих вращатель от бурового комплекса КГК-100. При отсутствии дрейфа, боковой и продольной качки ПБУ базовые варианты этих вращателей

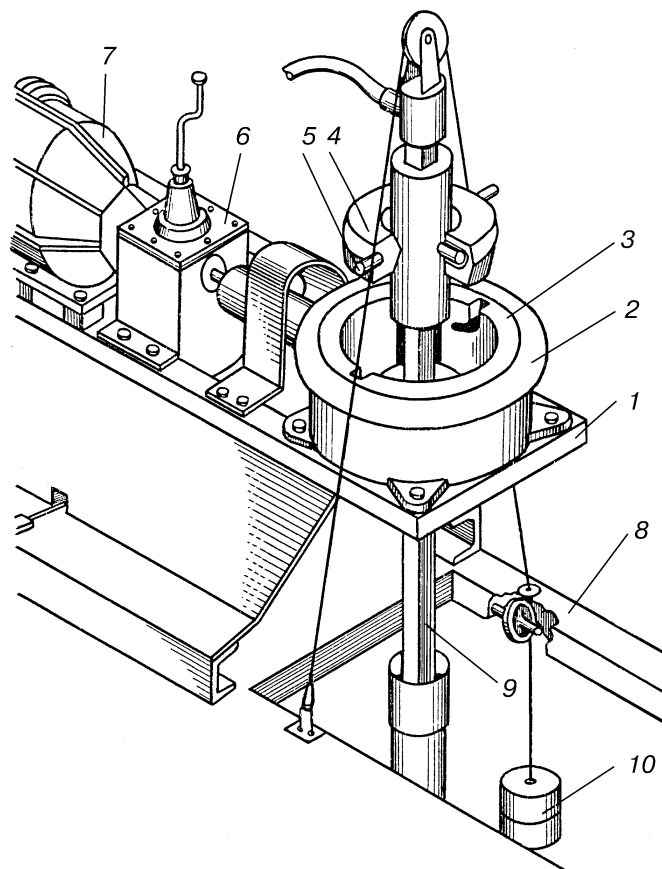


Рис. 4. Морской буровой вращатель ВМБ-5:

1 — станина; 2 — ротор; 3 — вкладыш наружный; 4 — внутренний вкладыш; 5 — пальцы; 6 — коробка передач; 7 — электродвигатель; 8 — рельсовые пути; 9 — ведущая четырехгранная штанга; 10 — груз для передачи осевого усилия на породоразрушающий инструмент (на забой скважины)

позволяют почти беспрепятственно перемещаться в вертикальном направлении плавсредству вместе с ротором и направляющими относительно бурового снаряда.

Для уменьшения влияния горизонтальных смещений и колебаний ПБУ на процесс бурения ВМБ-5 (рис. 4) снабжен двумя вкладышами, соединенными со столом ротора шарнирно при помощи пальцев, установленных в двух диаметрально перпендикулярных плоскостях (по принципу шарнира Гука), а направляющие подвижного вращателя от КГК-100 шарнирно подвешены к подкронблочной раме буровой вышки.

Опыт бурения вращателями описанных конструкций показал, что при волнении моря более 2 баллов на забой не передается заданная осевая нагрузка, так как ведущая ВМБ-5 заклинивается в роторе, а подвижной вращатель КГК-100 — в направляющих. Так как при бурении этими вращателями бурильная колонна обычно подвешена на тросе лебедки, жестко соединенной с плавсредством, его качка приводит к периодическим отрывам бурового снаряда от забоя, разрушает керн и не позволяет поддерживать необходимую осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент.

Такие же трудности отмечаются при бурении в сложных гидрологических условиях моря с применением силового вертлюга, используемого для вращения бурильной колонны. Эта схема принципиально схожа со схемой бурения вращателем от КГК-100.

Вращатели на вращаемой колонне. Их разработка обусловлена стремлением повысить скорость погружения обсадной колонны при бурении в плотных глинах и породах с большим содержанием щебня и гальки. Работы по созданию вращателей такого типа проводились в нашей стране сотрудниками лаборатории ВНИИморгео. Ими изготовлен опытный образец бурового станка со стабилизатором рычажного типа и гидроприводом вращателя, позволяющим плавно регулировать частоту вращения труб диаметром 0,127, 0,168 и 0,219 м (рис. 5).

Станок представляет собой прямоугольную рабочую площадку 6, на которой смонтирована станина 7 с укрепленным на ней неподвижным патроном 14 трубоизгиба и вращателем. Последний имеет приводной гидромотор 9, коробку скоростей 8 и одноступенчатый редуктор 11 с полым выходным валом и зажимным патроном 12. Патроны 12 и 14 снабжены комплектами сменных плашек для захвата труб 13 разных диаметров. Весь станок массой около 1300 кг подвешен

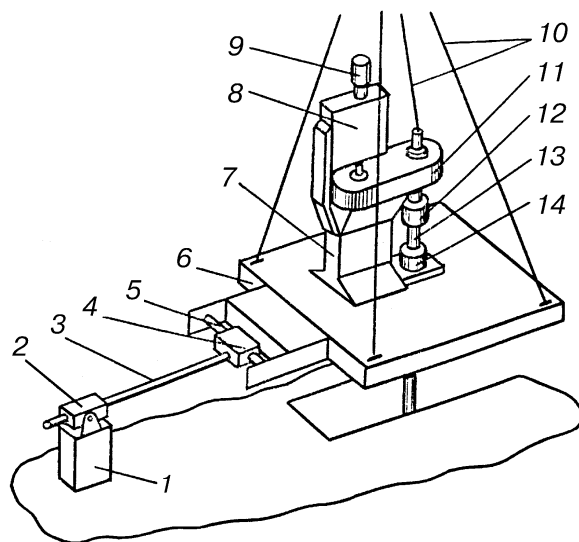


Рис. 5. Буровой вращатель на колонне труб:

1 — стойка; 2 — каретка; 3 — продольная штанга; 4 — каретка; 5 — поперечная штанга; 6 — рабочая площадка; 7 — станина; 8 — коробка скоростей; 9 — гидромотор; 10 — тросы; 11 — редуктор; 12 — зажимный патрон; 13 — буровые трубы; 14 — патрон трубобразователя

вается на четырех тросах 10 рабочей лебедки к вышке ПБУ. При этом реактивный момент передается от станка на ПБУ через рычажное стабилизирующее устройство, состоящее из продольной 3 и поперечной 5 штанг круглого сечения, свободно перемещающихся при качке в каретках 2 и 4. Поперечная штанга жестко крепится на двух кронштейнах рабочей площадки, а продольная закреплена одним концом в корпусе каретки, установленной с возможностью поворота в вертикальной плоскости на стойке 1, смонтированной на палубе ПБУ. Вращатель обеспечивает частоту вращения в пределах 0–50 и 82–118 об/мин с крутящим моментом 5,20; 3,25 и 2,25 кН·м при наклоне ПБУ до 7°, амплитуде ее горизонтальных перемещений (дрейфе) до 1,2 м и вертикальных — до 0,7 м.

Испытания выявили ряд конструктивных недостатков опытного образца. С их учетом был разработан усовершенствованный вариант станка, в котором изменена компоновка узлов вращателя, исключена коробка скоростей, одноступенчатый редуктор заменен двухступенчатым, переработана конструкция зажимных патронов и изменено их местоположе-

ние. В стабилизирующем устройстве совмещены обе каретки, а поперечная штанга вынесена на стойку, в системе подвески вращателя тросы заменены жесткой траверсой. Все это упростило конструкцию станка, повысило его надежность, уменьшило массу более чем на 500 кг и увеличило крутящий момент до 5,8 кН·м [7]. Однако и этот вращатель оказался громоздким, а его стабилизирующее устройство неудобно и ненадежно в работе. Обсадная колонна с установленным на ней вращателем такого типа неустойчива при забурировании скважины и бурении с промывкой. Бурение же всухую малопродуктивно и требует использования приводного двигателя большой мощности.

Общий недостаток вращателей, устанавливаемых на вращаемой обсадной колонне, — большие потери времени и труда на приведение в каждом рейсе вращателя в рабочее положение и на разворот извлекаемых из скважины обсадных труб, резьбовые соединения которых при вращательном бурении сильно затягиваются. Из-за отмеченных недостатков вращатели этого типа на производстве не использовались.

Схемы вращательного бурения забойными гидродвигателями. Исследование схем вращательного бурения на море с применением забойных гидродвигателей обусловлено стремлением исключить влияние качки плавсредства на процесс бурения или хотя бы существенно уменьшить его. Забойный двигатель при бурении вращает только колонковый снаряд или долото, бурильная колонна при этом воспринимает реактивный момент и не вращается. Это облегчает условия стабилизации осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент.

Для исследований использовались винтовые гидродвигатели Д-85, так как их энергетические и геометрические параметры по сравнению с параметрами других типоразмеров винтовых двигателей и турбобуров (табл. 1) наиболее приемлемы для бурения разведочных скважин требуемых диаметров с ПБУ (длина самого малого по диаметру серийного турбобура ТС4А-4" превышает высоту буровой вышки большинства геолого-разведочных ПБУ).

При бурении скважин с применением Д-85 осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент создавали силой тяжести утяжеленных бурильных труб (УБТ), т.е. силой тяжести бурового снаряда, который вывешивали на тросе лебедки. Поэтому качка плавсредства не позволяла бурить постоянно с необходимой осевой нагрузкой на породоразрушающий инструмент. Тем не менее бурение с катамарана "Приморец"

Таблица 1

Сравнительная характеристика забойных гидродвигателей

Показатели	Турбобур ТС4А-4''	Винтовой двигатель		
		Д-127	Д-85	Д-54
Расход жидкости, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$	8	15–20	5–7	2–3
Перепад давления, МПа*	5,5	5,5–7,0	4,5–6,0	3,5–4,0
Частота вращения, об/мин	810	130–175	130–280	350–500
Крутящий момент, Н·м*	1950	2000–2500	450–550	80–100
Мощность на валу, кВт	16,2	20–30	6–10	2–5
Диаметр корпуса, м	0,105	0,127	0,088	0,054
Длина, м	12,78	6,00	3,24	2,23
Масса, кг	629	450	111	27
*Значения при максимальной мощности.				

забойными вращателями осуществлялось более спокойно, чем вращателями ВМБ-5 и вращателями, перемещаемыми в вертикальных направляющих, и это позволило бурить при волнении моря до 3 баллов включительно [7].

Однако существующие характеристики винтовых забойных гидродвигателей не позволяют считать их перспективными для бурения инженерно-геологических, структурно-картировочных и разведочных скважин на твердые полезные ископаемые с ПБУ. Для работы гидродвигателей необходимы насосы большой гидравлической мощности. Так, для двигателя Д-85 необходим насос с подачей $(5\div 7) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, которая создает перепад давления в двигателе 4,5–6,0 МПа. Такое количество жидкости при бурении одинарными колонковыми снарядами с прямой промывкой размывает выбуриваемый керн из рыхлых отложений. Поэтому на практике бурение двигателем Д-85 осуществляли с обратной призабойной циркуляцией морской воды, которую создавали эжекторным снарядом с перепадом давления в нем 0,6–0,8 МПа. Хорошо зарекомендовал себя при бурении забойными двигателями Д-85 насос геолого-разведочного сортамента НБ-5 с подачей 320 л/мин, давлением до 10 МПа и приводной мощностью 37 кВт [7].

Гидродвигатель Д-85 не располагает достаточным крутящим моментом и необходимым диапазоном частоты вращения. Причем при увеличении тормозящего момента частота вращения резко падает, что не позволяет эффективно использовать гидродвигатель Д-85 для бурения пород трещиноватых и перемежающейся крепости (рис. 6).

Более мощным является гидродвигатель Д-127, но он еще более низкочастотный, требует применения насосов с более

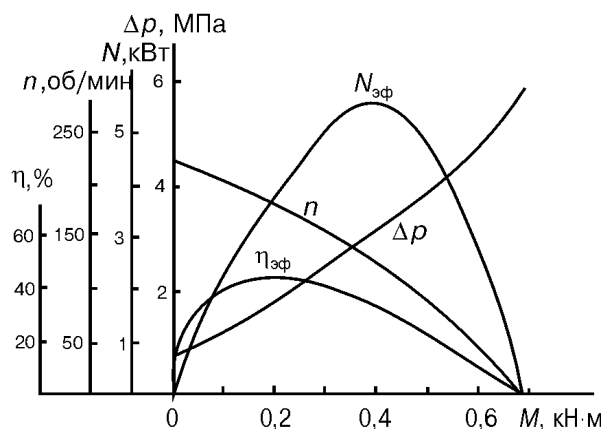


Рис. 6. Стеновая характеристика забойного винтового гидродвигателя Д-85 при работе на воде с подачей насоса 4,7 л/с:
 η — КПД двигателя; n — частота вращения; N — мощность; Δp — перепад давления; M — момент на валу

высокими гидравлическими показателями и во многих случаях не вписывается в экономичные диаметры разведочных скважин. Наиболее приемлемы частота вращения вала гидродвигателя Д-54 и гидравлическая мощность необходимого для его привода насоса. Однако крутящий момент этот двигатель развивает недостаточный.

Таким образом, опыт бурения с применением гидродвигателя Д-85 свидетельствует, что его использование не позволяет решить проблемы вращательного бурения разведочных скважин с судов: этот двигатель требует применения насосов большой гидравлической мощности и специальных снарядов, исключающих размыв керна подаваемой в скважину для привода двигателя жидкостью, не располагает достаточным диапазоном частоты вращения, при незначительном увеличении тормозящего момента резко уменьшает частоту вращения вала.

Так как длина бурильной колонны при бурении на море всегда больше глубины скважины на величину, равную глубине моря, то перспективными являются и применяются на практике схемы бурения снарядами со съёмными кернаприёмниками. Обусловлено это стремлением сократить затраты времени на спуск и подъем бурильной колонны в каждом рейсе с целью отбора керна.

Забойные гидродвигатели со съёмными кернаприёмниками

характеризуются большими наружными диаметрами, во многих случаях превосходящими экономичные диаметры бурения разведочных скважин, требуют значительного расхода промывочной жидкости и большой гидравлической мощности для привода. Это является важной причиной, сдерживающей использование для бурения разведочных скважин на море серийно выпускаемых забойных гидродвигателей, в том числе турбобуров со съёмными кернаприемниками.

1.4.3. БУРЕНИЕ С ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЕМ КЕРНА

Бурение с гидротранспортированием керна материала обеспечивается при вращательном, вибрационном, ударно-забивном или комбинированном способах разрушения пород забоя. При этом одновременно с углублением скважины осуществляется крепление ее стенок трубами и транспортирование по ним выбуренных пород на поверхность восходящим потоком нагнетаемой в скважину жидкости. Для организации нисходящего и восходящего потоков жидкости применяют двойные или тройные колонны труб. На практике большее распространение получила схема бурения с гидротранспортированием керна по двойной колонне труб (ДКТ).

Вращательное бурение с гидротранспортированием керна шламового материала по ДКТ на море осуществлялось в АО "Дальморгеология" с целью разведки россыпных месторождений. Для этого на основе успешно используемого при бурении на суше комплекса КГК-100 был разработан, изготовлен, смонтирован на ПБУ "Приморец" и испытан комплекс технических средств КГК-50/50П, который позволял бурить скважины глубиной до 50 м по воде и до 50 м по породам I–IV с прослоями V–VII категорий по буримости.

Опыт бурения КГК-50/50П показал, что в условиях моря производительность вращательного бурения с гидротранспортированием керна материала значительно выше, чем ударного с поинтервальным отбором керна забивными кернаприемниками. Однако специфика бурения на акваториях выдвигает ряд проблем, ограничивающих эффективность применения с ПБУ вращательного способа в целом и вращательного с гидротранспортированием керна в том числе.

1. Традиционные технические средства вращательного бурения с гидротранспортированием керна в условиях моря не обеспечивают постоянства требуемого количественного соотношения между двумя формируемыми у забоя потоками

жидкости: восходящим в центральном канале ДКТ и поступающим в заколонное пространство.

При возрастании сопротивлений движению жидкости в центральном канале или уменьшении в заколонном пространстве поток жидкости устремляется в заколонное пространство, керн на поверхность не выносится и в центральном канале образуются породные пробки. Для борьбы с такими осложнениями при бурении на суше применяют различного рода устьевые герметизаторы и призабойные пакеры, предотвращающие уход подаваемой к забою жидкости через заколонное пространство, в системах КГК-100 и КГК-300 используют шнеково-спиральный пакер со сходящимися спиральями. К перспективным при бурении на суше относят шнековый устьевой герметизатор, который после забурирования скважины срабатывает тогда, когда сопротивления пород создадут перегрузки приводу вращателя [7].

Эффективность названных устройств при бурении на море низкая, так как большие интервалы пород сильно обводнены (например, илы, пески). Из-за этого шнековый устьевой герметизатор на большом протяжении бурения скважины не срабатывает, пакер также не обеспечивает требуемой герметизации. В результате количество подаваемой в центральный канал ДКТ жидкости уменьшается, в нем образуются породные пробки, ликвидировать которые без подъема из скважины ДКТ зачастую не удается.

Опыт вращательного бурения с гидротранспортированием установкой КГК-50/50П показал, что ДКТ в интервале между ПБУ и дном моря почти всегда изогнута из-за качки и дрейфа установки. Под действием передаваемой через ДКТ нагрузки на забой величина изгиба увеличивается. В результате при вращении ДКТ устье скважины разбивается на "конус". Это, а также слабая связность пород придонных горизонтов приводят к тому, что при бурении обратный поток нагнетаемой в скважину воды поднимается по затрубному пространству ДКТ, а не по ее центральному каналу. Этот поток выносит керновый материал из скважины и складировывает его в виде кратера на ее придонном устье. По данным замеров, высота кратера достигает 0,5 м. Попытки ликвидировать перетекание воды в затрубное пространство путем изменения направления отверстий в коронке и вытекающих из нее струй не дали положительных результатов.

С целью исключения таких проблем забуривание скважины осуществляли вдавливанием ДКТ первоначально в породы на глубину 1,1 – 1,3 м без вращения и промывки (вдавливание

сверх указанной величины приводило к свайному эффекту и образованию пробок). Затем включали насос и с минимальной подачей воды (в целях недопущения размыва пород забоя и перетока воды в затрубное пространство) вдавливание продолжали до 4 м [7].

2. Вращательный способ бурения с гидротранспортированием рыхлых пород не отвечает геолого-методическим требованиям, предъявляемым к опробованию при разведке россыпных месторождений полезных ископаемых, так как не позволяет бурить скважину с опережающим креплением ее трубами, не обеспечивает отбивку слоев пород по скважине и получение проб необходимого диаметра.

При разведке россыпей золота диаметр керна должен быть не менее 0,13 м. В КГК-50/50П наружный диаметр специальной коронки составляет 0,132 м, а внутренний диаметр коронки и канала внутренней колонны ДКТ — 0,067 м. Для выполнения требования по диаметру отбираемой пробы необходимо, чтобы в процессе бурения в канал внутренней колонны диаметром 0,067 м поступал весь объем пород, выбуриваемых коронкой диаметром 0,132 м. Однако пропускная способность канала внутренней колонны ограничена площадью его сечения. Поэтому при большой скорости погружения колонны, что имеет место при бурении в рыхлых породах, значительное количество пород, выбуриваемых коронкой диаметром 0,132/0,067 м, не успевает удаляться с забоя через канал внутренней колонны. В результате в канале образуются породные пробки и разрушаемые коронкой породы забоя отжимаются в заколонное пространство, т.е. теряются, и проба обедняется.

3. С целью предотвращения образования породных пробок во внутренней колонне и уменьшения ухода пород забоя в заколонное пространство при бурении в рыхлых породах ограничивают скорость подачи колонны. Однако при относительно малой скорости подачи выход керна при бурении в рыхлых породах может превысить 100 %, так как из-за отсутствия опережающего крепления скважины трубами породы призабойной зоны размываются потоком нагнетаемой к забою жидкости, обрушаются из стенок скважины и поступают во внутреннюю колонну. При этом искажается геологическая информативность, так как проба обогащается, и неясно, из скважины какого диаметра она получена. По этой же причине невозможно фиксировать границы разбуриваемых слоев пород по скважине, так как очистка забоя путем вымывания пород из колонны без ее подачи приводит к обру-

пению пород призабойной зоны. Обрушению на забой пород из стенок пробуренных интервалов способствует также периодическая разработка ствола скважины путем расхаживания ДКТ с целью облегчения ее вращения [2].

4. Площадь торца коронки, применяемой для бурения КГК-50/50П, превышает $0,01 \text{ м}^2$ из-за большой разницы между наружным и внутренним диаметрами коронки. В процессе бурения под большой площадью коронки измельчается и истирается значительное количество пород. В результате проба получается в виде керношлямового, а не кернового материала и находящиеся в ней частицы разведываемого металла могут быть измельчены, что не допускается требованиями разведки. Уменьшение толщины стенки коронки требует увеличения внутреннего и соответственно наружного диаметра ДКТ. Все это сопряжено с трудностями изготовления специального оборудования (двойная колонна, коронки, вращатели, двойные вертлюги-сальники и т.п.), а также с увеличением металлоемкости оборудования, трудоемкости его обслуживания, ростом энергозатрат на вращение колонны большого диаметра и, следовательно, повышением стоимости бурения. Удорожание ДКТ не оправдано, учитывая их частые поломки и безвозвратные потери из-за штормовых условий бурения на море.

При бурении КГК-50/50П с применением ДКТ диаметром $0,110/0,067 \text{ м}$ и коронки диаметром $0,132/0,067 \text{ м}$ крутящий момент в породах с твердыми включениями достигал $2500 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Якоря ПБУ не всегда могут противостоять такому реактивному моменту, ползут по дну, и ПБУ смещается с устья скважины, что приводит к поломкам ДКТ и потере скважины [7].

5. Для эффективного бурения коронкой диаметром $0,132/0,067 \text{ м}$ осевую нагрузку на забой следует выдерживать в довольно больших пределах, в зависимости от категории разбуриваемых пород: I–IV категории — $5–10 \text{ кН}$, V–VIII — $10–40 \text{ кН}$. В условиях волнения моря и качки ПБУ нагрузки на коронку и ДКТ изменяются в 2–3 раза от заданного значения как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения. Такие нагрузки требуют больших мощностей на вращение колонны. Кроме того, при бурении на акваториях даже меньшие значения осевых нагрузок изгибают и ломают колонну в интервале между ПБУ и дном акватории. С целью уменьшения прогибов колонны ограничивают частоту ее вращения, осевую нагрузку на забой и глубины разведываемых акваторий. Из-за ограничения осевой нагрузки на забой бурение этим способом в твердых и крепких породах неэффективно. Опускать же внутри колонны другие

снаряды для разбуривания твердых и крепких включений пород нерационально ввиду малого внутреннего диаметра ДКТ (0,067 м).

6. Существенной проблемой при вращательном бурении на акваториях скважин любого целевого назначения является также замена износившейся коронки. Если встречаются валуны, гравийно-галечные или плотные абразивные породы, то коронка может износиться после 4–6 м бурения. Для замены ее необходимо извлечь из скважины всю колонну. При бурении в условиях моря с применением ДКТ это равносильно потере скважины, так как она быстро заплывает обводненными придонными породами и, кроме того, повторно попасть буровым снарядом в придонное устье скважины с дрейфующей ПБУ через толщу воды затруднительно.

Ударно-забивное бурение с гидротранспортированием кернового материала по ДКТ свободно от многих проблем вращательного бурения. Интерес для разведки месторождений полезных ископаемых на акваториях представляют способ, оборудование и инструмент, разработанные фирмой "Беккер Дрил" (Канада) для ударно-забивного бурения скважин в песчаных и гравийно-галечных отложениях с непрерывным отбором образцов пород. Этот способ основан на использовании двойной концентрической колонны труб, на нижнем конце которой установлена зубчатая башмачная коронка. Двойную колонну труб погружают в породы дизель-молотом, наносящим удары по верхнему концу колонны при одновременном нагнетании в кольцевое пространство между трубами сжатого воздуха, воды или азрированного раствора. Поток очистного агента возвращается на поверхность через внутреннюю полость внутренних труб, вынося разрушенные коронкой породы.

Описанный способ ударно-забивного бурения с гидротранспортированием кернового материала с 1965 г. применяется за рубежом при разведке на суше никеля, бокситов, золотых и оловянных россыпей, медных и угольных месторождений, песчаных и гравийных залежей, а также воды на глубине от 15 до 60, а иногда и до 100 м от поверхности. В многолетнемерзлых грунтах, состоящих из плотных глин, гравия с включением отдельных валунов, колонной диаметром 0,140 м удавалось бурить скважины на глубину 30 м. При бурении этой же колонной в песках и глинах с отдельными валунами достигали глубины 113 м, а при бурении колонной диаметром 0,168 м в гравии максимальная глубина скважины составила 70 м. Скорость углубления обычно равняется 9 м/ч,

достигая в отдельных случаях 100 м/ч. В моренных отложениях скорость бурения снижается до 3 м/ч, а в мелком гравии — до 1 м/ч. Выход керна в большинстве случаев составляет 80—100 %. Гравий выносится в виде отдельных кусков, глина — в виде цилиндрического керна.

Производительность бурения ударно-забивным способом с выносом разрушенной породы обратной промывкой такая же, как при бурении вращательным способом, основанным на этом же принципе, а по сравнению с бурением обычным вращательным способом — выше. Процент ее повышения в зависимости от свойств выбуриваемых пород составляет: глины — 50; галька — 180; крупный гравий — 160; пески — 140; мерзлые грунты с глинистыми и гравийными включениями и обломками скальных пород — 200; сланцы и песчаники — 10 [24].

Однако эффективность бурения описанным ударно-забивным способом с гидротранспортированием керна и техническими средствами для его осуществления с ПБУ значительно меньше, чем на суше. Обусловлено это, прежде всего, низким коэффициентом передачи энергии удара к породоразрушающей коронке в связи с большими потерями энергии на: а) продольные (гуковские) деформации по всей длине колонны, так как энергия удара от дизель-молота воспринимается верхним торцом колонны и передается по ней к ее башмаку; б) радиальные (продольного изгиба, выпучивания) деформации колонны, перекрывающей толщу воды в месте бурения, так как в интервале между дном моря и ПБУ выпучивания и изгибы колонны ничем не ограничены. Длина части колонны, возвышающейся над дном моря, и длина всей колонны изменяются соответственно глубине акватории. Поэтому с увеличением глубины акватории возрастают потери энергии удара как на продольные, так и на радиальные деформации колонны.

Радиальные потери особенно существенны при отклонении (даже незначительном) колонны от вертикали, что часто наблюдается при бурении из-за качки ПБУ и установки массивного дизель-молота на верхний конец колонны. Чтобы исключить влияние качки ПБУ на отклонение погружаемой в породы морского дна колонны от вертикали, забуривание скважины описываемым способом начинают при волнении моря до 1 балла. Отклонение погружаемой в породы колонны от вертикали снижает не только коэффициент передачи энергии удара на забой, но и затрудняет последующее извлечение колонны из скважины.

Стремление компенсировать потери энергии удара увели-

чением мощности дизель-молота вынуждает использовать более массивное энергоемкое и дорогостоящее оборудование. При увеличении энергии удара с 10,9 до 24,7 Дж масса необходимого бурового оборудования возрастает с 13,5 до 18 т, а масса дизель-молота превышает 1 т [24]. При таких статических и динамических нагружениях колонны быстро разрушаются ее резьбовые соединения, в интервале между дизель-молотом и дном моря колонна изгибается, и тем интенсивнее, чем больше масса дизель-молота и глубина воды в месте бурения. Поэтому глубины акваторий, разведываемых этим способом бурения по описанной технологической схеме, ограничены устойчивостью и прочностью части колонны, возвышающейся над дном акватории. Допустимая высота этой части колонны резко уменьшается по мере ее нагружения, так как в соответствии с формулой Эйлера допустимая величина нагружения колонны обратно пропорциональна квадрату ее длины.

Расположение массивного дизель-молота на буровой вышке уменьшает остойчивость ПБУ из-за повышения их общего центра тяжести. Работа дизель-молота и используемого для его привода компрессора создает на малой по площади находящейся на воде ПБУ высокое звуковое давление (шумы) и вибрацию оборудования, которые вредно действуют на самочувствие бурового персонала. Осуществление ударно-забивного способа бурения требует применения сложной и дорогостоящей конструкции ДКТ с прочной стыковкой наружных и внутренних труб между собой, точной подгонкой их длин, а также использования на каждом соединении внутренней колонны специальных колец для предотвращения утечки очистного агента из межтрубного пространства.

Таким образом, оценка известных схем бурения в рыхлых породах с гидротранспортированием их на поверхность показывает, что применительно к морским условиям наиболее перспективными по производительности и качеству опробования являются схемы ударно-забивного способа с гидротранспортированием. Однако ни одна из известных технологических схем его осуществления неприемлема для работы с ПБУ.

1.4.4. БУРЕНИЕ ВДАВЛИВАНИЕМ

Объемы этого способа бурения на суше невелики, так как его эффективное применение возможно только в илах, песчаных водонасыщенных и глинистых грунтах мягкопластичной и полутвердой консистенции. Вдавливание в грунт

грунтоносов для отбора монолитов затруднено необходимостью компенсации реактивного усилия, значения которого возрастают с увеличением диаметра грунтоноса и достигают сотен килоньютонов. Реактивное усилие обычно создают силой тяжести установки или путем завинчивания анкерных свай.

Хорошо зарекомендовало себя бурение вдавливанием при проведении инженерно-геологических изысканий с применением пенетрационно-каротажных станций (СПК). Одновременное выполнение статического зондирования и радиоактивного каротажа позволяет быстро и достаточно точно оценивать основные физико-механические свойства грунтов, находящихся в скважине в естественном состоянии, получать в процессе бурения непрерывные диаграммы изменения этих свойств по всей глубине зондирования.

Пенетрационно-каротажные станции дают возможность оценивать с помощью гамма-гамма и нейтронного каротажа естественную радиоактивность, плотность и природную влажность грунтов, с помощью зондирования — статическое лобовое сопротивление и трение по боковой поверхности.

Рыхлые отложения морского дна сильно водонасыщены, поэтому большой объем задач разведочного бурения на море может решаться с применением вдавливающего способа. Однако бурение вдавливанием непосредственно с ПБУ ограничено глубинами моря преимущественно до 10 м и высотой волн до 0,5 м. Чем больше глубина моря, тем интенсивнее изгиб вдавливаемой колонны в интервале между поверхностью и дном моря, а возникающее при вдавливании реактивное усилие уменьшает остойчивость ПБУ и смещает ее с устья скважины.

Более широкие возможности имеет бурение методом вдавливания с расположением погружающих механизмов на дне моря. Однако работа придонных механизмов не всегда надежна из-за трудности их герметизации, необходимости работы в агрессивной морской воде, высоких требований охраны водной среды от загрязнения.

Для компенсации реактивного усилия необходим массивный придонный противовес, а для работы с ним — вспомогательное судно со специальными мощными грузоподъемными механизмами и электронной аппаратурой для дистанционного управления процессом бурения с применением подводного бурового агрегата, опирающегося на дно.

Несмотря на отмеченные трудности, подводные буровые станки, безусловно, найдут применение при бурении на акваториях скважин, прежде всего инженерно-геологических.