

# 2

## МОРСКИЕ БУРОВЫЕ ОСНОВАНИЯ И УСТАНОВКИ

Наличие над придонным устьем скважины водного пространства вынуждает применять для бурения на акваториях специальные основания или морские буровые установки (МБУ). Главный элемент МБУ — основание, на котором размещается платформа с персоналом, буровым оборудованием и специальной аппаратурой для выполнения комплекса работ, связанных с бурением скважин на море.

В мире имеется множество организаций, занимающихся бурением скважин на море. Практически каждая из этих организаций разрабатывает или заказывает свой тип МБУ, определяемый назначением и параметрами скважин, условиями и объемами бурения, возможностями конструирования и материального обеспечения строительства. Поэтому к настоящему времени известно большое количество типов МБУ, обладающих различными эксплуатационно-технологическими возможностями.

Необходимость обоснованного выбора типа МБУ для бурения скважин конкретного назначения в конкретных условиях требует систематизации или классификации установок по определенным признакам. Прежде всего целесообразно классифицировать МБУ по возможности их передвижения с одной точки бурения на другую. По этому признаку можно выделить две основные группы МБУ или их оснований: стационарные и передвижные, т.е. транспортируемые на плаву (рис. 7).

Передвижные установки в зависимости от места расположения бурового оборудования относительно придонного устья скважины подразделяют на подводные и надводные. Первые на период бурения устанавливаются на дно моря. Вторые в зависимости от точности удержания их над скважиной во время бурения можно разделить также на две группы: опирающиеся на дно моря и находящиеся на плаву.

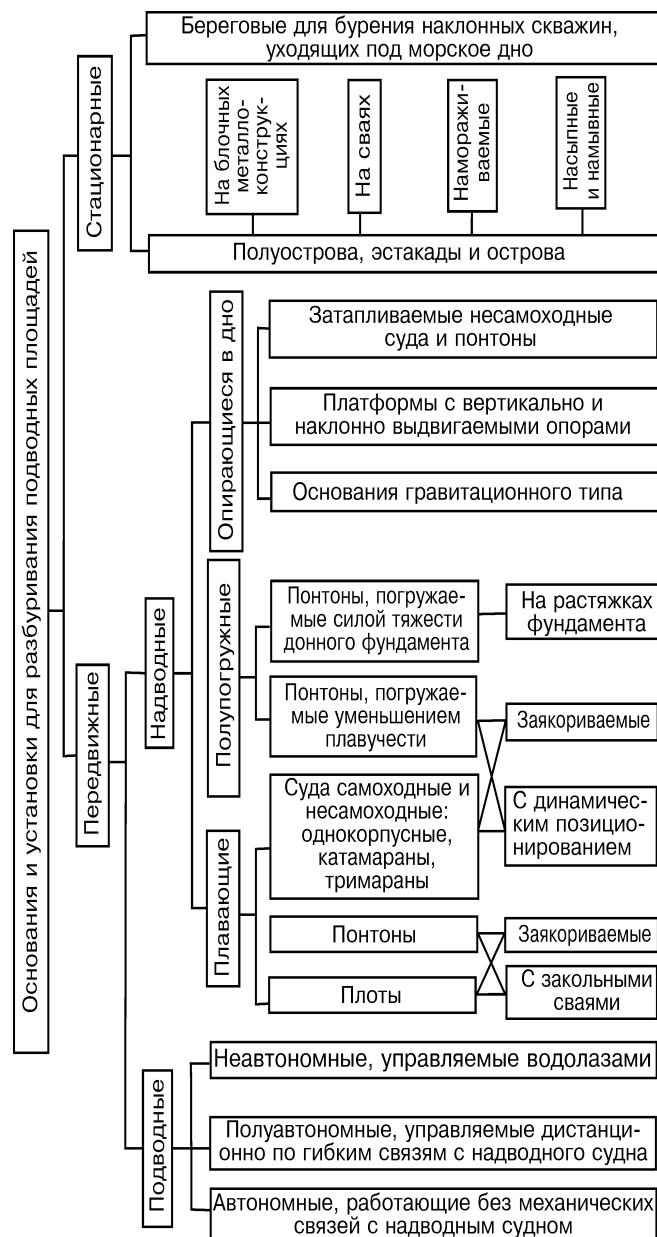


Рис. 7. Классификация типов оснований и установок для разбуривания подводных площадей

Морские буровые основания и установки отличаются друг от друга конструктивно, назначением и параметрами, способами стабилизации на точке бурения и управления процессом их работы при бурении. Но так или иначе каждое основание или установку можно отнести к одному из названных основных типов.

## 2.1. СТАЦИОНАРНЫЕ ОСНОВАНИЯ

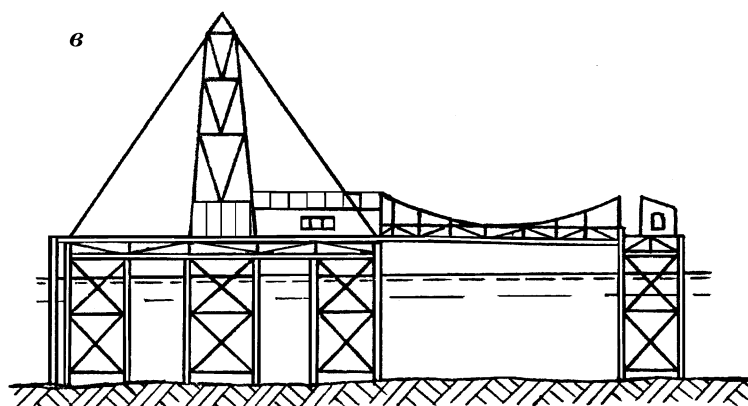
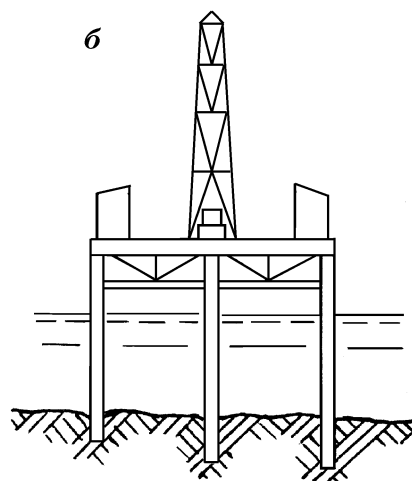
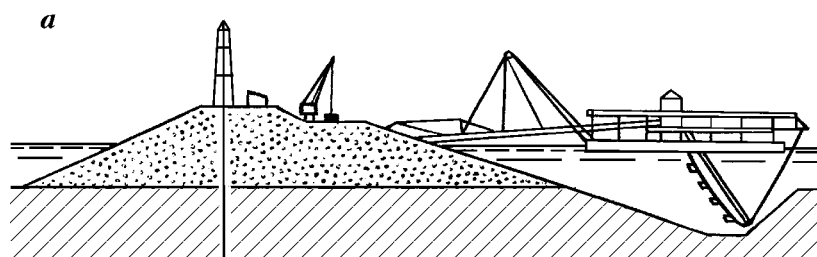
Стационарные основания бывают в виде искусственных полуостровов и островов: образуемых после заграждения части прибрежной акватории дамбой и откачки из нее воды; насыпаемых или намываемых из местных материалов; образуемых путем искусственного намораживания льда; возводимых на установленных на морское дно металлоконструкциях.

*Стационарные основания намывного и насыпного типов* надежно соединены с поверхностью дна моря, поэтому процесс бурения с них не зависит от волнения моря (рис. 8, а). Однако стоимость возведения таких оснований резко возрастает с увеличением глубины моря в месте бурения. Канадская компания Dome Petroleum считает, что, несмотря на большую стоимость, для бурения в арктических условиях моря Бофорта намывать острова целесообразно при глубине воды до 15 м [68].

*Стационарные основания на металлоконструкциях* возводят обычно при глубинах моря до 60 м. Их монтируют на сваях, забитых в грунт в месте бурения (рис. 8, б), или на крупных блоках стержневой конструкции призматической формы, опускаемых на дно (рис. 8, в). Полуостровные свайные основания (эстакады) принципиально отличаются от островных свайных тем, что имеют непосредственную связь с берегом по магистралям, проложенным вдоль эстакад.

Описанные типы стационарных оснований эффективно используются на мелководных участках акватории Каспийского моря, где с 1950 г. построено около 400 км эстакадных сооружений и 1500 оснований на металлоконструкциях. В одном из районов Каспийского моря в месте выхода мощной скалы были затоплены, засыпаны и забетонированы отслужившие свой срок корабли и на этом фундаменте образована площадь, названная островом Семи Кораблей; на ней был построен поселок нефтяников, состоящий из пятиэтажных жилых домов.

*Ледяные основания* для бурения скважин сооружают чаще

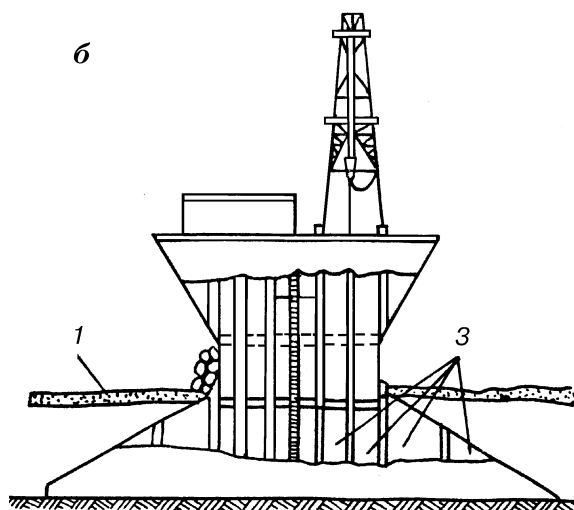
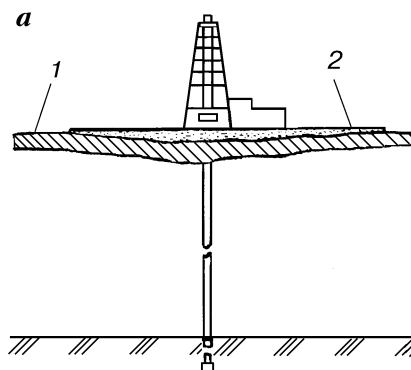


**Рис. 8. Островные основания:**  
*a* — насыпные; *б* — свайные; *в* — крупноблочные

всего в арктических морях путем многократного покрытия ледяного поля тонкими замерзающими слоями морской воды. По мере утолщения льда ледяной массив погружается в воду и может опуститься на дно моря. В практике бурения при значительных глубинах моря намораживанием толщины льда образуют плавучие ледяные основания (рис. 9, а), а при небольшой глубине моря — ледяные острова, опирающиеся на грунт.

Преимущества ледяных островов по сравнению с металлическими основаниями заключаются в существенном снижении стоимости и транспортных расходов, так как строительный

**Рис. 9. Принципиальные схемы ледовых оснований:**  
*а* — намораживаемая площадка; *б* — остров с холодильными установками;  
 1 — естественный ледовый покров; 2 — искусственно намороженная ледовая площадка; 3 — металлические полости с холодильными установками и замороженной ими водой



материал (вода) находится на месте. Нет необходимости демонтировать остров после окончания бурения, поскольку летом он растает. На строительство ледяного острова под оборудование для бурения глубоких нефтегазовых скважин затрачивается от 2 до 6 мес., а на острова из металлоконструкций — от 3 мес. до 2—5 лет.

Ледяные острова должны иметь достаточную прочность и хорошее сцепление с морским дном, чтобы выдерживать напор окружающих ледяных полей. Прочность льда зависит от продолжительности выдержки при замерзании воды, температуры воздуха, силы ветра. Для повышения прочности льда следует снижать соленость и регулировать температуру воды. Недостатком ледяных островов является ограниченное время бурения с них, так как летом они тают.

При необходимости круглогодичной работы с ледяного острова его намораживают при помощи холодильных установок. Одна из конструкций такого острова, предназначенного для работы в водах глубиной до 21 м, состоит из двух герметичных металлических емкостей в форме конусов, обращенных вершинами друг к другу (рис. 9, б). Нижний конус предназначен для ломки движущегося льда, а верхний — для смещения разрушенного льда в стороны. Металлическое основание в форме конусов обладает положительной плавучестью и транспортируется на место работы буксирами. В точке бурения оно опускается на дно моря в результате заполнения емкостей конусов водой. Затем воду в емкостях замораживают с помощью холодильной установки, которая поддерживает необходимую температуру льда круглогодично [1].

К стационарным основаниям можно отнести также ледовый припай, искусственно намораживаемые на нем площадки и специально оборудованные береговые площадки для бурения наклонных скважин, уходящих под морское дно.

## **2.2. ПЕРЕДВИЖНЫЕ ОСНОВАНИЯ, ОПИРАЮЩИЕСЯ НА ДНО МОРЯ**

К передвижным основаниям, опирающимся во время бурения на дно моря, относятся основания с погружаемыми на дно опорными понтонами или несамходными судами (баржи, шаланды, плашкоуты), а также основания на выдвижных опорах и гравитационного типа.

*Основания с погружаемыми на дно акватории опорными понтонами* — это конструкции, состоящие из надводной

платформы с буровым оборудованием, опорных понтонов с переменной плавучестью и металлических элементов, соединяющих платформу с понтонами жестко (рис. 10) или с возможностью поступательного перемещения по ним (трубчатым колоннам) платформы (рис. 11).

Для транспортировки по морю установки с подвижной платформой последнюю вместе с оборудованием опускают в ее крайнее нижнее положение. Это снижает центр тяжести установки, повышает ее устойчивость и безопасность перевода в рабочее положение. В точке заложения скважины понтоны опускают на дно моря, заполняя их морской водой. После того как понтоны лягут на дно, платформу при помощи домкратов поднимают по колоннам над уровнем моря на высоту, при которой даже во время максимального прилива наиболее высокие волны, возможные на данной акватории, не достигали бы платформы.

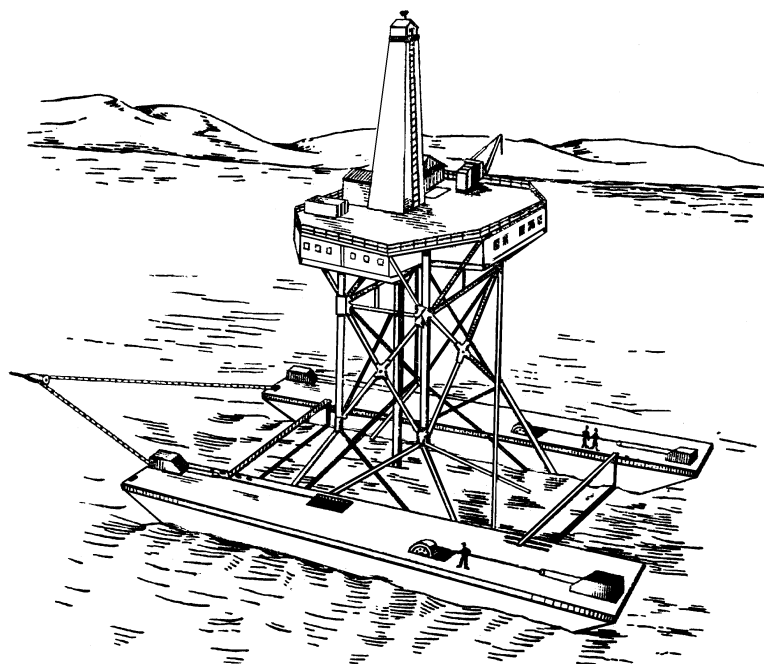
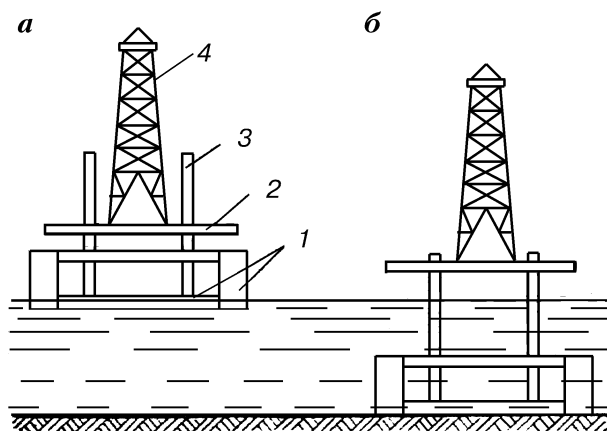


Рис. 10. Буровая установка с погружаемыми на дно понтонами, жестко соединенными металлоконструкцией с надводной платформой (транспортное положение)



**Рис. 11. Буровая установка с погружаемыми на дно понтонами и перемещаемой по опорным колоннам платформой:**  
*а* — при транспортировке по морю; *б* — в процессе бурения; 1 — элементы опорного понтона; 2 — водонепроницаемый надводный корпус; 3 — опорные колонны; 4 — буровая вышка

Колонны погружных оснований перпендикулярны к понтонам и соответственно к рельефу морского дна. Поэтому для таких оснований неблагоприятными являются участки, изобилующие подводными камнями и с большим уклоном дна, что в большей степени характерно для прибрежной полосы моря с глубиной воды до 10 м. Обычно используют эти основания на глубинах акваторий от 5 до 30 м, иногда до 45 м.

Основания с погружаемыми на дно акватории *несамоходными судами* применяют для работы в мелководных районах. Удобны для этого переоборудованные десантные баржи, так как они имеют небольшую осадку, плоское дно, могут подходить к берегу и обеспечивать бурение в районе уреза воды. В точке бурения в бортах и днище баржи открывают клапаны, вода заполняет балластные емкости и баржа погружается на дно. По окончании бурения воду из емкостей откачивают и баржа всплывает. Затем она может быть отбуксирована к следующей точке бурения.

Максимально возможные глубины разведываемых такими установками акваторий ограничены высотой баржи — в положении баржи на дне ее верхняя палуба, на которой размещается буровое оборудование, должна оставаться над во-



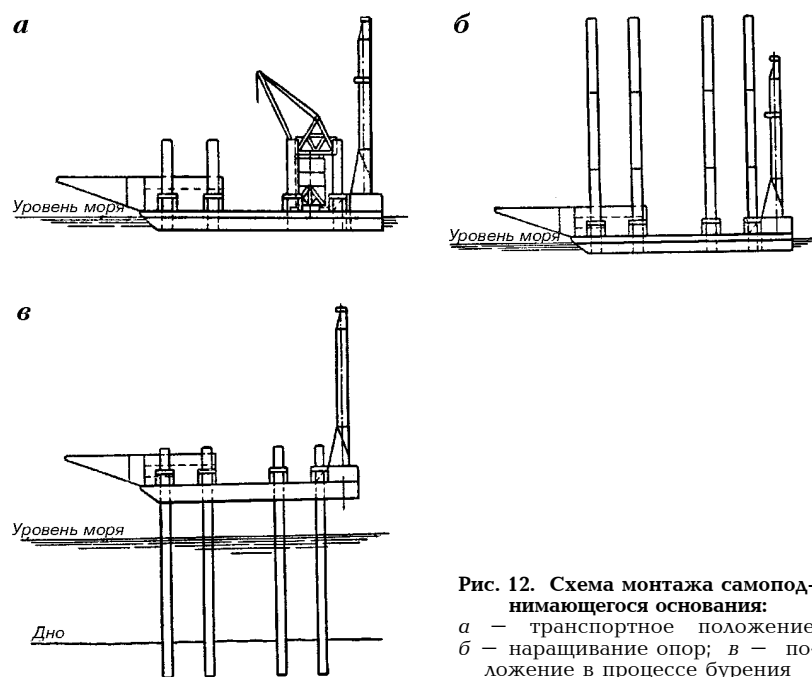
дой. Американская погружная буровая установка "Лютеция", смонтированная на плоскодонной барже, предназначена для бурения глубоких нефтегазоразведочных скважин на глубинах акваторий до 6,7 м. На месте бурения баржа опирается на грунт с удельным давлением не более 30 кПа.

*Буровое основание на выдвижных опорах* представляет собой платформу с буровым оборудованием и выдвигающимися опорами, количество которых может достигать 10 и более; в настоящее время платформы имеют чаще 3–4 опоры. В транспортном положении основания опоры подняты вверх и не касаются дна. При этом верхние секции опор демонтированы и уложены на платформе для снижения центра тяжести и увеличения остойчивости основания. В точке заложения скважины опоры наращивают дополнительными секциями, опускают, углубляют в морское дно и платформу с буровым оборудованием поднимают по ним на такую высоту, чтобы во время шторма волна не доставала платформы (рис. 12). По окончании бурения платформу опускают к воде, опоры извлекают из грунта, верхние секции их демонтируют и укладывают на платформе [20].

Подъем платформы над поверхностью моря и ее опускание осуществляют при помощи домкратов или тросовых оснасток лебедек, установленных непосредственно на платформе. Поэтому основания на выдвижных опорах часто называют самоподнимающимися.

Основания с выдвижными опорами могут устанавливаться на сравнительно неровной поверхности дна благодаря разделному выдвижению опор. Большинство оснований таких конструкций рассчитаны на бурение при глубинах моря до 90 м, а в некоторых случаях и до 120 м. Главными препятствиями эффективного их использования на больших глубинах моря являются: 1) сложность и удорожание работ из-за необходимости демонтажа и монтажа громоздких выдвижных опор каждый раз для транспортирования основания по морю; 2) резкое снижение устойчивости и надежности работы основания по мере увеличения длины опор; 3) увеличение массы основания с ростом длины опор и трудность их извлечения из грунта морского дна.

Для устранения первого препятствия предложены проекты более сложных конструкций оснований с шарнирными и телескопическими опорами. Плавающая конструкция основания "Силегс" с несколькими шарнирно соединенными с платформой опорами, которые могут принимать вертикальное и горизонтальное положения, вероятно, технически осуществ-



**Рис. 12. Схема монтажа самоподнимающегося основания:**  
*а* — транспортное положение;  
*б* — наращивание опор; *в* — положение в процессе бурения

вима, но в этом случае можно предвидеть трудности, связанные с обеспечением одновременного изменения наклона всех опор [34].

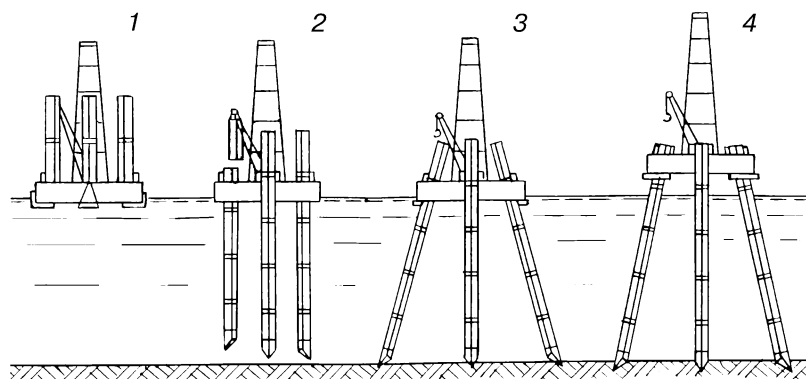
Другим проектом предусмотрено создание основания для бурения в водах глубиной до 115 м. В основу конструкции положена возможность телескопически изменять длину опор, что позволяет в нерабочем положении уменьшить их общую высоту, обеспечить низкое положение центра тяжести, повысить устойчивость и степень сопротивляемости сооружения волнению моря в процессе буксировки в район бурения [67].

Устойчивость оснований на выдвижных опорах во время бурения зависит от количества, диаметра и жесткости опор, расстояния между ними на дне моря и несущей способности грунта морского дна. Для обеспечения достаточной устойчивости таких оснований во время бурения расстояние между опорами на дне моря должно быть не менее 0,8–1,0 глубины воды в месте бурения [66]. При соблюдении этого требования

основание, предназначенное для бурения на глубине моря 90 м, должно иметь платформу площадью не менее 2600 м<sup>2</sup>. В то же время для выполнения технологических операций по бурению разведочных скважин глубиной до 100 м по породам достаточно иметь площадь платформы в 10 раз меньшую.

С увеличением размеров платформы возрастают масса основания и нагрузки на опоры. Поэтому опоры изготавливают в виде ферм или из труб большого диаметра, что дополнительно увеличивает массу и стоимость основания, затрудняет его обслуживание: для извлечения из грунта опор массивных оснований необходимы мощные грузоподъемные устройства, устанавливаемые непосредственно на буровом или вспомогательном плавучем основании.

Не требуют существенного увеличения размеров и массы платформы по мере увеличения глубин разведываемых акваторий буровые основания с наклонными опорами. Обычно их опоры имеют угол наклона 7–12°, оканчиваются цилиндрическими резервуарами диаметром 8–12,5 м и высотой до 14 м. Балластировкой этих резервуаров создается дополнительная нагрузка, примерно на 30 % превышающая рабочую, которая позволяет заглубить опору в грунт на достаточную величину. Одним из таких оснований является платформа "Ле-Турно" с тремя наклонными поддерживающими опорами, известная под названием "Дикслинг-250" (рис. 13). Основание имеет платформу размерами 51,8×5,6 м и допускает работу



**Рис. 13. Морская буровая установка с наклонными опорами:**  
1 — транспортное положение; 2, 3 — в период монтажа; 4 — в процессе бурения

при глубине моря 92 м. Достигается это за счет того, что при максимальном угле наклона опор  $12^\circ$  на глубине моря 92 м упирающийся в дно конец каждой опоры удаляется от платформы в плане на 20 м [15].

Преимуществом оснований с наклонными выдвижными опорами по сравнению с основаниями, имеющими вертикальные опоры, является также то, что они способны выдерживать в 1,5–2 раза большие ветровые и волновые нагрузки. К недостаткам оснований с наклонными опорами можно отнести сложность конструкции подъемного устройства, поскольку в процессе подъема платформы изменяется расстояние между опорами, а также то, что наклонные опоры работают в более тяжелых условиях на излом, чем вертикальные.

Основания на выдвижных опорах бывают автономными и зависимыми. На первых установлен весь комплект необходимого бурового оборудования. Зависимые основания имеют меньшие размеры и позволяют монтировать на них минимум основного оборудования (буровая вышка, лебедка, роторный привод или буровой станок). Бурильные и обсадные трубы, насосный и растворный узлы, другое вспомогательное оборудование, жилье для рабочих располагают на вспомогательном плавсредстве (тендере), закрепленном у основания (рис. 14). В связи с этим конструкции зависимых оснований по сравнению с автономными испытывают значительно меньшие нагрузки, позволяют повторно использовать часть оборудова-

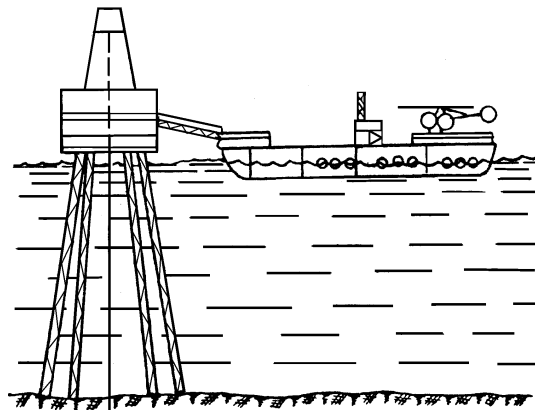


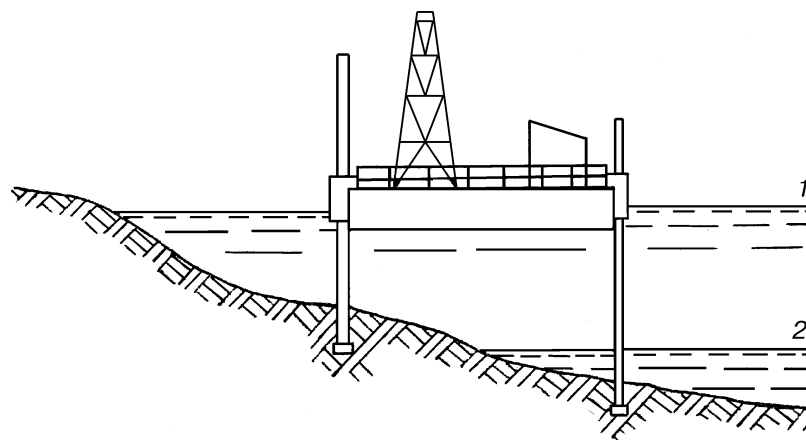
Рис. 14. Сочетание бурового основания с тендером

ния, более компактные, легкие и транспортабельные требуют меньших затрат времени и средств на их сооружение. Во время шторма тендер отшвартовывается от основания и удерживается поблизости на якорях или буксируется в ближайший порт.

С тендерных оснований бурят скважины глубиной до 6000 м при глубине моря до 70 м. Обычно подобные основания монтируют на четырех опорах, которые погружаются на 40–80 м в мягкие донные отложения [1].

Для бурения на шельфе сравнительно неглубоких разведочных скважин иногда применяют легкие плавучие буровые установки с выдвижными опорами. В качестве основания этих ПБУ используют понтоны или катамараны, представляющие металлоконструкцию из двух соединенных между собой понтонов. Опоры опускают и поднимают через отверстия в понтонах или с их внешней стороны с помощью лебедок либо домкратов. Особенно удобны легкие ПБУ на выдвижных опорах для бурения в зонах осушки. Здесь достаточно в полную воду опустить опоры на грунт и закрепить на основании. Во время отлива основание “обсохнет” и будет находиться уже не на плаву, а на своих опорах (рис. 15).

Применение легких ПБУ с выдвижными опорами ограничено в районах с вязким, илистым дном, где опоры могут

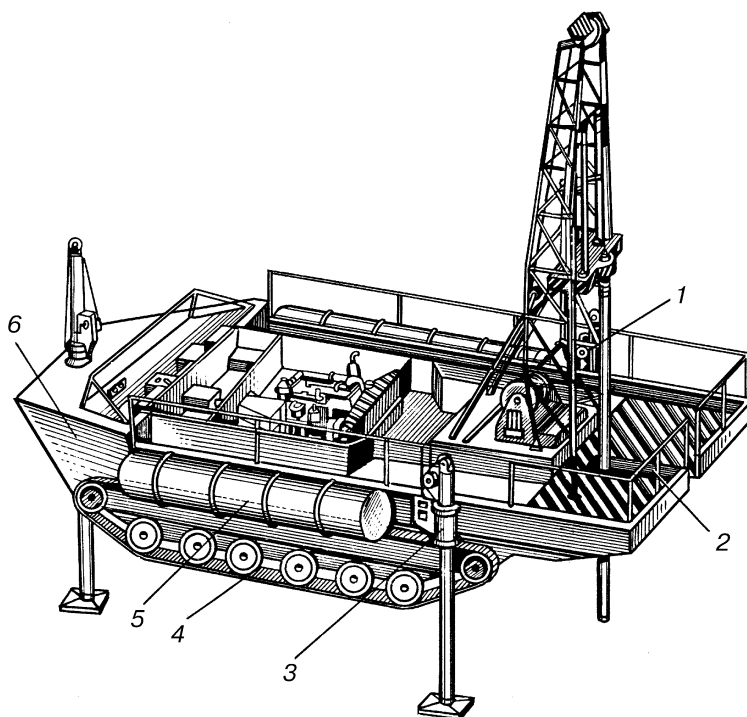


**Рис. 15. Схема положений плавучей буровой установки с выдвижными опорами на мелководье:**

1 — во время прилива (на плаву); 2 — во время отлива (над уровнем моря)

погрузиться в грунт и не обеспечат нужный упор для подъема основания над водой. Не могут войти ПБУ в районы акваторий с глубинами, меньшими осадки этих установок. Обычно это прибрежные акватории с глубинами моря менее 2 м.

Для бурения скважин глубиной до 25 м по породам в зоне, недоступной для плавучих и сухопутных установок (0–2 м), в АО "Дальморгеология" разработали буровую установку типа амфибии (АБУ-1). Она смонтирована на базе плавающего транспортера К-61-2 с гусеничным ходом по суше и двумя водометными движителями для перемещения по воде. В кормовой части, перекрытой водонепроницаемой палубой, смонтированы станок УГБ-1ВС и мачта. К корме прикреплена



**Рис. 16. Буровая установка на базе гусеничного транспортера:**  
1 — буровой станок; 2 — проем буровой; 3 — опорные ноги; 4 — гусеница;  
5 — надувные баллоны; 6 — корпус

рабочая площадка, обладающая дополнительной плавучестью и являющаяся продолжением палубы. Площадка имеет проем, позволяющий установке отходить от скважины без извлечения труб и возвращаться для продолжения бурения. К бортам транспортера снаружи прикреплены надувные баллоны из прорезиненной ткани, которые служат для повышения устойчивости АБУ-1 на плавучесть. Давление в баллонах создается и поддерживается выхлопными газами ходового двигателя. Гусеницы, водометные движители, осушительные насосы и буровой станок приводятся в движение одним дизелем. Установка стабилизируется на точке бурения тремя опорами, которые крепятся к ее корпусу с помощью болтового соединения и при транспортировании могут сниматься. Поднимают и опускают АБУ-1 на опорах при помощи ручных лебедок с тросовой оснасткой или гидродомкратов, смонтированных внутри опор (рис. 16).

*Основания гравитационного типа* — это опирающиеся на дно бесвайные буровые платформы. Фундаментом служат массивные опорные пустотелые плиты, выполняющие роль понтонов во время буксировки и всплытия. На фундаменте закреплены несущие конструкции, поддерживающие платформу с буровым оборудованием, которые могут быть выполнены из бетона в форме башни, из стальных колонн или ферм (рис. 17). Большинство придонных плит изготавливают из армированного и предварительно напряженного бетона, что по сравнению с буровыми основаниями на выдвижных опорах дает следующие преимущества:

повышаются устойчивость сооружения и безопасность работ в условиях сильных штормов за счет большой массы фундамента, значительно снижающей центр тяжести основания;

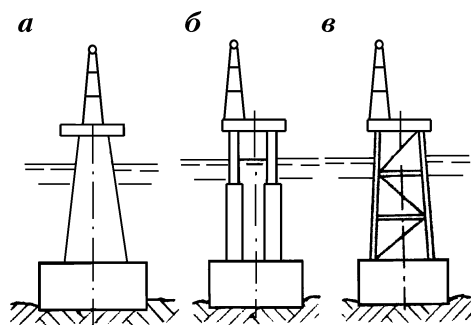


Рис. 17. Типы гравитационных оснований с опорами под буровые платформы в форме башни из бетона (а), двух стальных колонн (б), металлической фермы (в)

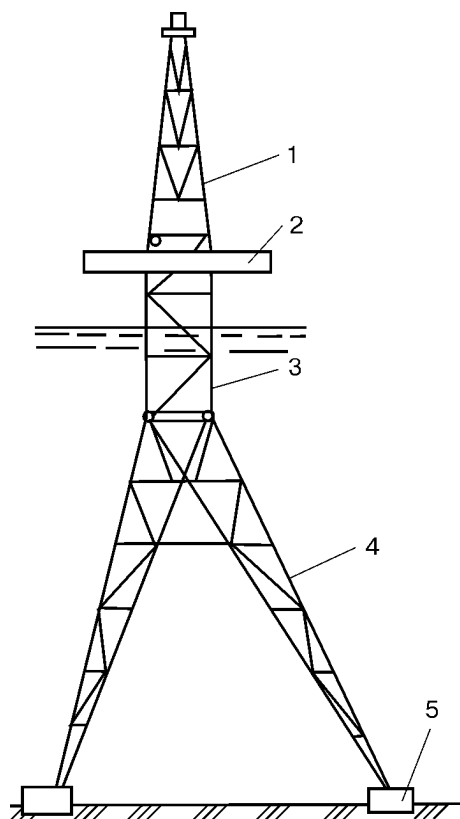
сокращаются сроки морского монтажа, так как почти все основание сооружается в заводских условиях;

уменьшается стоимость основания, так как для изготовления опорных элементов используется бетон;

снижаются сложность и опасность доставки к месту бурения и перевода основания в рабочее положение;

сокращаются эксплуатационные расходы на защиту опорных элементов от коррозии.

Основания гравитационного типа рассматривают как одно из основных направлений обустройства морских месторождений нефти и газа на глубинах моря 400–600 м и более. Одна из МБУ такого типа спроектирована для бурения скважин у побережья Австралии при глубине воды до 400 м. Масса ее вместе с несущей конструкцией достигает 90 000 т.



**Рис. 18. Мобильная морская буровая установка:**  
1 – буровая вышка; 2 – рабочая площадка; 3 – прямоугольная ферма; 4 – трехопорная ферма; 5 – понтоны



В другом проекте предлагается такого же типа мобильная МБУ, которая состоит из независимой рабочей площадки 2 с буровой вышкой 1 и подводной части, выполненной в виде трехопорной фермы 4 (рис. 18). Ферма опирается не на одну опорную плиту, а на три понтона 5, которые при необходимости стабилизируют МБУ или придают ей нужную плавучесть. Подводная часть МБУ заканчивается отдельной фермой 3 прямоугольной конструкции, позволяющей наращивать ее и устанавливать рабочую площадку на необходимой высоте над уровнем воды (пат. США № 3456447).

Для бурения на глубинах моря до 300 м одна из калифорнийских фирм запатентовала МБУ, состоящую из цилиндрической колонны и установленной на ее верхнем конце платформы с буровым оборудованием, смонтированной на двух горизонтальных трубчатой формы понтонах (рис. 19). Колонну собирают на суше из отдельных секций, представляющих собой герметические емкости, буксируют к месту буре-

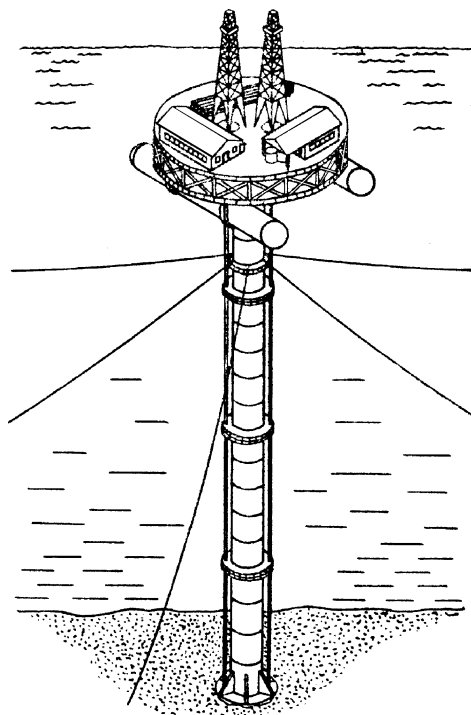
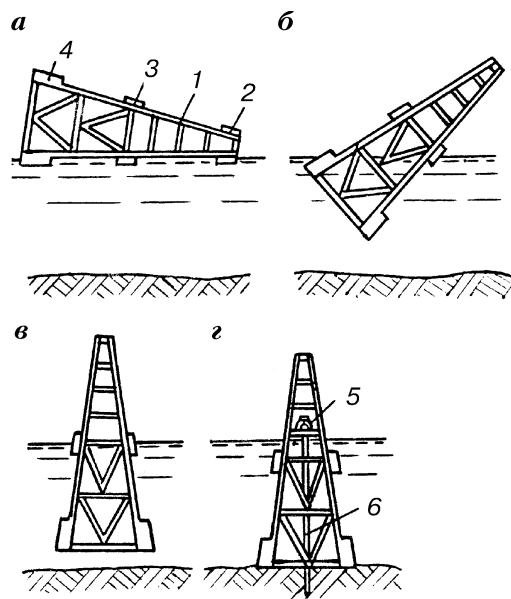


Рис. 19. Буровая установка на расчлененной колонне

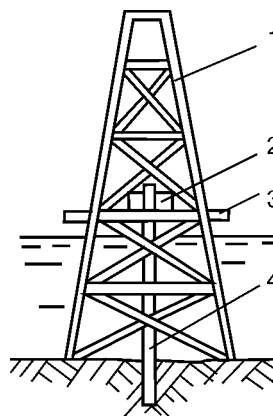
ния и переводят в рабочее положение плавучим краном. При этом нижние секции колонны или их специальные ниши заполняют песком, гравием или другим природным материалом, средние — водой, а верхние — оставляют заполненными воздухом. В результате средние секции имеют почти нулевую плавучесть, верхние сообщают колонне усилие, направленное вверх, а нижние имеют отрицательную плавучесть, снижают центр тяжести колонны и предотвращают ее всплытие. Под действием усилий со стороны крайних секций средняя оказывается растянутой, что исключает продольный изгиб колонны. От заваливания колонну предохраняют растяжки, закрепленные на тяжелых якорях.

В качестве основания гравитационного типа под рабочую площадку с оборудованием для бурения разведочных скважин на море иногда используют буровые вышки. Первый вариант такого основания представляет собой изготовленную из труб вышку, имеющую три ряда балластных камер (рис. 20). Верхние камеры съемные, средние могут перемещаться вдоль ног



**Рис. 20. Буровая вышка-понтон в положении:**  
 а — горизонтальном; б — промежуточном; в — вертикальном; г — рабочем;  
 1 — вышка буровая; 2—4 — камеры; 5 — буровой станок; 6 — обсадная колонна

**Рис. 21. Основание – вышка буровая:**  
 1 – буровая вышка; 2 – буровой станок; 3 –  
 рабочая площадка; 4 – обсадная колонна



вышки (их фиксируют под уровнем моря в точке бурения), нижние неподвижны.

При горизонтальном (транспортном) положении вышки все камеры ее продуты и выполняют функции поплавков. При заполнении водой нижних камер вышка переходит в вертикальное положение. Заполнив водой средние камеры, вышку опускают на дно и устанавливают в рабочее положение. После этого над поверхностью воды монтируют рабочую площадку и буровое оборудование. При демонтаже все операции выполняют в обратной последовательности. Для опорожнения камер используют сжатый воздух из баллонов или от компрессора [6].

Для бурения разведочных скважин в зонах осушки, где во время прилива наблюдаются сильные накаты, используют в качестве основания буровую вышку без балластных камер (рис. 21). Монтаж основания ведут во время отлива. После установки вышки на грунт вертикально копровой лебедкой поднимают на требуемую высоту площадку с буровым оборудованием и закрепляют ее на ногах вышки. По окончании бурения дожидаются отлива и демонтируют установку в обратной последовательности.

Благодаря сквозной конструкции основания вышечного типа почти не испытывают волнового воздействия. Но небольшая масса основания не обеспечивает достаточной его устойчивости при сильном ветре. Поэтому в районах с сильными ветрами основания вышечного типа следует дополнительно раскреплять растяжками.

### 2.3. ПОЛУПОГРУЖНЫЕ ПЛАВУЧИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Необходимость бурения на глубинах моря, превышающих возможности оснований гравитационного типа, привела к созданию в начале 60-х годов так называемых полупогружных плавучих буровых установок (ППБУ).

Отличительная особенность ППБУ — относительная легкость перемещения, постановки на точку бурения и снятия с нее, повышенная устойчивость к воздействию ветра, волнения и течений, возможность бурения на глубинах акваторий до 6000 м, а также незначительное увеличение стоимости по мере роста глубин моря.

К настоящему времени разработан ряд буксируемых и самоходных ППБУ. По способу удержания над скважиной в процессе бурения их можно разделить на три типа: с якорной системой удержания; с динамическим позиционированием; на натяжных опорах.

*ППБУ с якорной системой удержания* состоит из основания и смонтированной на нем платформы с буровым оборудованием. Основание включает понтоны с переменной плавучестью и опоры под платформу, обладающие положительной плавучестью (рис. 22). В транспортном положении, несмотря на большую массу ППБУ, верхняя часть понтонов выступает над уровнем моря. На точке бурения понтоны заполняются водой, основание погружается на 18–30 м под уровень моря и заякоривается. Платформа с оборудованием при ее жестком соединении с основанием остается на высоте, недостижимой для волн во время шторма, или ее поднимают на такую же высоту по опорам домкратами.

В полупогруженном положении ППБУ удерживается за счет плавучести опор. При этом понтоны, обладающие большой площадью миделевого сечения, оказываются вне волнового воздействия, затухающего с глубиной моря, а миделевое сечение опор, воспринимающих давление волн, незначительно, причем заполненные водой понтоны снижают центр тяжести ППБУ. Уменьшение площади сечения элементов, воспринимающих сильные волновые нагрузки, и снижение центра тяжести ППБУ повышают ее устойчивость.

Максимальные глубины моря для ППБУ с якорной системой удержания над скважиной ограничены 300 м, так как с глубиной существенно возрастают длина якорных тросов, габариты и масса якорных лебедок, затрудняются процессы заякоривания и увеличивается дрейф основания.

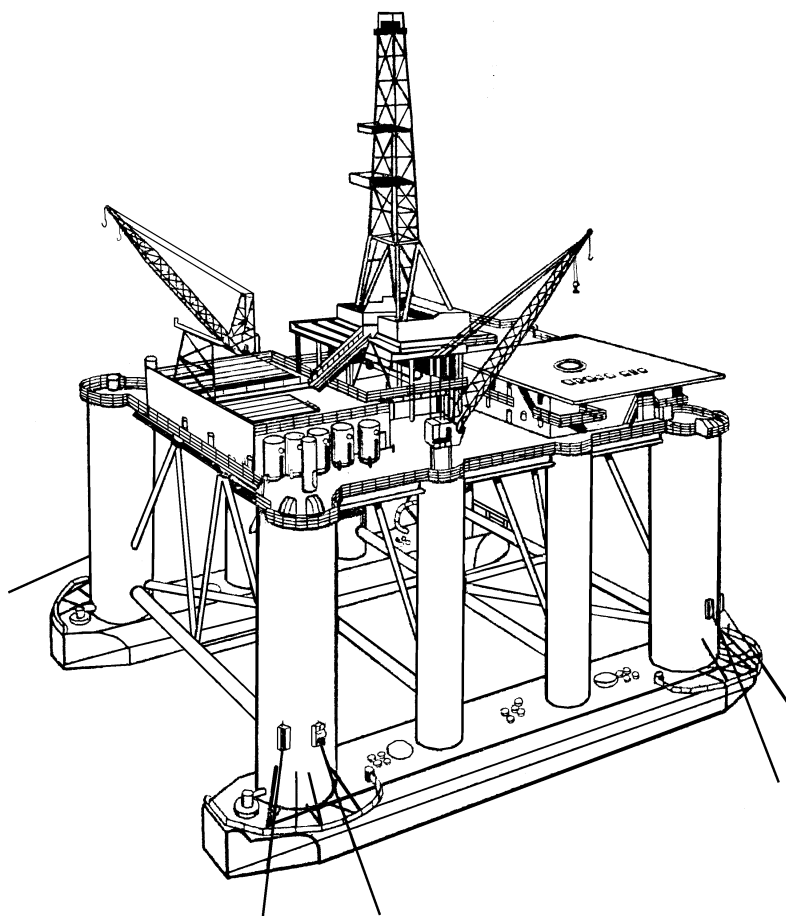
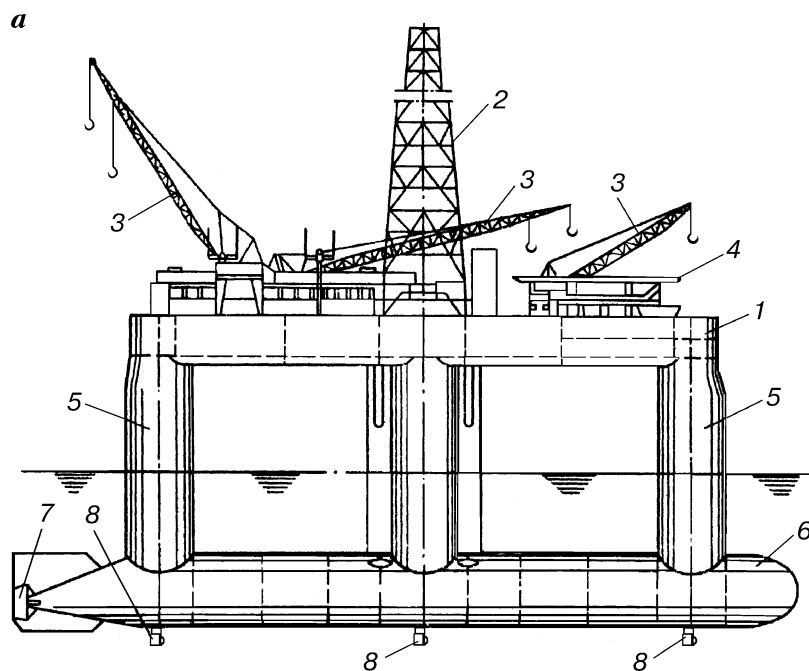


Рис. 22. Полупогружная плавучая буровая установка "Седко-701" (Великобритания)

ППБУ с динамическим позиционированием конструктивно отличается от ППБУ предыдущего типа только системой удержания установки над скважиной в процессе бурения. В рассматриваемой ППБУ (рис. 23) якорная система удержания заменена динамической, которая включает 8 винтов продольного и поперечного перемещения, акустическую аппаратуру и вычислительную машину. Излучаемые сигналы отражаются от дна, воспринимаются гидрофонами, и вычислительная маши-



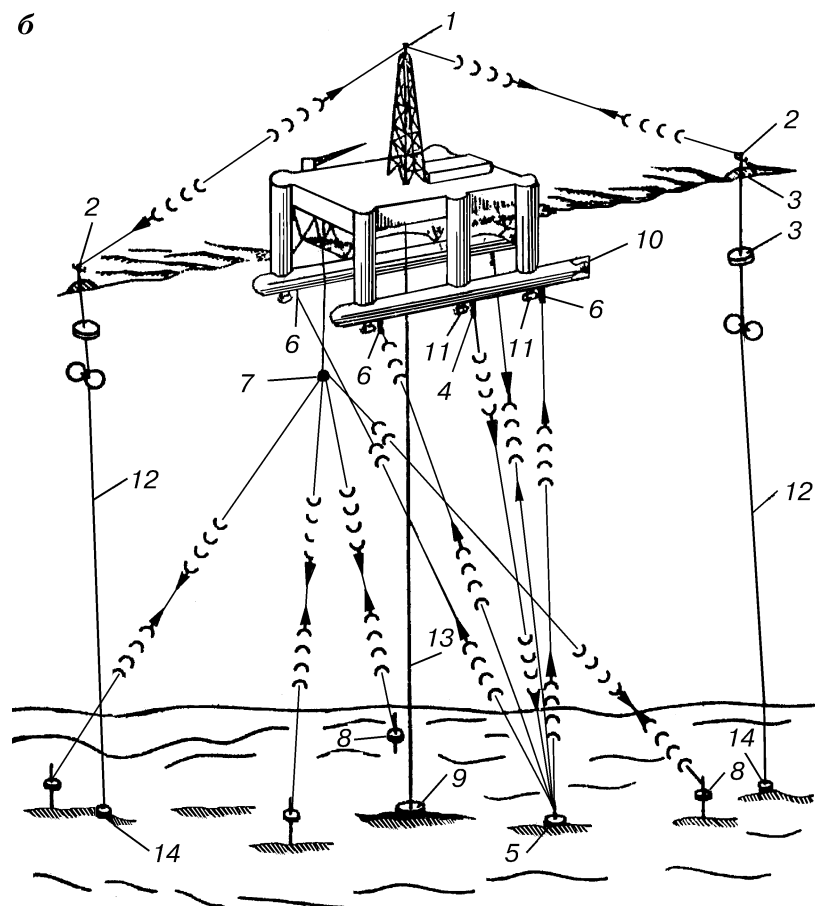
**Рис. 23. Полупогружная плавучая буровая установка "Мохол":**

*a* — общий вид; 1 — основание под буровое оборудование с емкостями для топлива, промывочного раствора, питьевой воды и т.п.; 2 — вышка буровая; 3 — краны грузоподъемные; 4 — площадка для вертолетов; 5 — колонны опорные; 6 — понтоны; 7 — главный гребной винт; 8 — винты для стабилизации основания; 9 — схема динамической стабилизации установки; 10 — антенна радарная; 11 — рефлексор радарный; 12 — поплавок рефлексора; 13 — звукоизлучатель коротковолновых сигналов; 14 — приемопередатчик донный гидроакустический коротковолновый; 15 — гидрофон коротковолновой акустической сигнализации; 16 — приемник длинных акустических волн; 17 — излучатель донный длинноволновый; 18 — устье скважины; 19 — главный гребной винт; 20 — винты вспомогательные; 21 — тросы якорные; 22 — колонна обсадная; 23 — якоря (грузы)

на определяет положение ППБУ. При смещении ее по отношению к скважине автоматически подается команда на соответствующие двигатели, и установка возвращается на исходную точку с заданными координатами.

В отличие от якорных систем эффективность динамической системы увеличивается с ростом глубины моря. При возрастании глубины повышается удельная точность (отношение горизонтального смещения к глубине воды), но стоимость системы стабилизации не увеличивается. Поэтому ППБУ с

6



динамическим позиционированием применяют для работы на глубинах моря до 6000 м.

ППБУ с якорной и динамической системами стабилизации удерживаются в полупогруженном состоянии за счет плавучести опор, соединяющих подводные понтоны с надводной платформой. Количество и диаметры опор в конструкциях ППБУ ограничены относительно их увеличения в целях снижения сил волнового воздействия на устойчивость основания.

Однако это приводит к росту вертикальных колебаний установки, так как из-за малой площади опор по ватерлинии

ППБУ очень чувствительна к перемещениям оборудования на платформе и изменению ее нагружения.

В особенно напряженных условиях заякориваемые ПБУ и ППБУ работают на приливно-отливных акваториях. Здесь по мере изменения уровня моря изменяется расстояние установки от его дна: уменьшается при отливе на величину понижения уровня воды и увеличивается при приливе на величину поднятия уровня воды.

Вследствие этого при отливе якорные тросы провисают, и установка может сместиться по горизонтали от оси скважины; при приливе тросы сильно натягиваются и могут срывать якоря.

*ППБУ на натяжных опорах* свободны от отмеченных недостатков и занимают ведущее место среди всех известных типов ППБУ. Основными элементами основания на натяжных опорах являются понтоны с переменной плавучестью, опоры под платформу, фундамент, устанавливаемый на дне в точке бурения, и растяжки, соединяющие понтоны с фундаментом, который выполняет роль придонного якоря и удерживает понтоны в подводном положении. В качестве растяжек, исходя из удобства транспортирования, монтажа и демонтажа установки, используют герметично закрытые по концам трубы, обладающие положительной плавучестью. Конструкции фундамента, выполняющего роль придонного якоря, могут быть различными: погруженные в грунт сваи больших диаметров, массивные плиты или пустотелые емкости.

Технологические схемы монтажа ППБУ с натяжными опорами существенно зависят от конструкции фундамента, но даже при одинаковой его конструкции могут быть различными. Если фундамент выполнен в виде массивной пустотелой емкости, разделенной на отдельные секции, то его первым буксируют к точке заложения скважины. Затем сюда же доставляют предварительно изготовленные трубчатые растяжки, длины которых определены исходя из глубины моря в точке бурения и проектной величины погружения понтонов основания под уровень моря. Нижние концы растяжек соединяют скобами с фундаментом, часть пустотелых отсеков фундамента заполняют водой, и он опускается под уровень моря, увлекая за собой трубчатые растяжки, которые вследствие положительной плавучести занимают вертикальное положение.

В соответствии с расчетом по избыточной плавучести растяжек и свободных от воды секций фундамента погружение



последнего прекращается на расстоянии от дна, примерно равном проектной величине погружения понтонов основания под уровень моря. При этом верхние концы растяжек возвышаются над поверхностью моря на уровне мест их крепления к понтонам. Теперь к месту монтажа буксируют основание с платформой, закрепляют верхние концы растяжек на понтонах и заполняют водой оставшиеся пустотелые секции фундамента. При этом фундамент опускается на дно, увлекая понтоны основания на необходимую глубину под уровень моря.

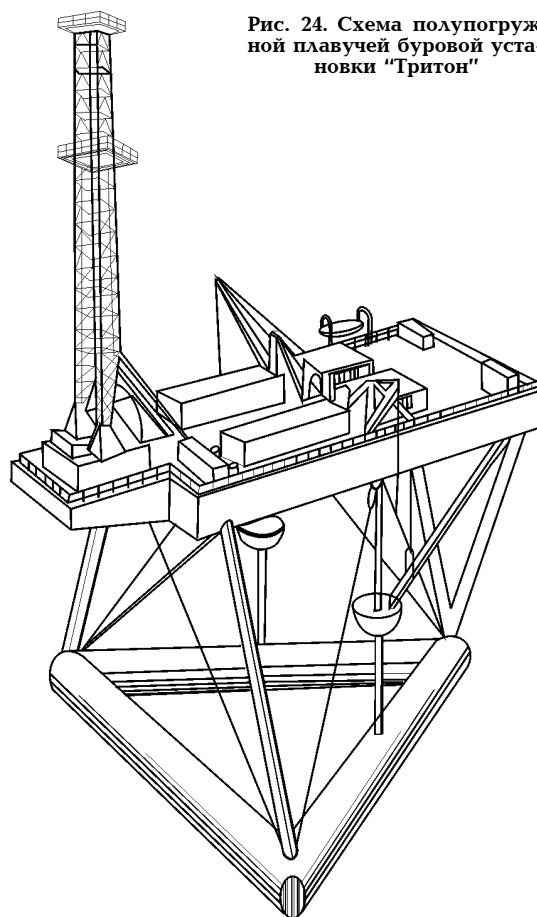
Устойчивость ППБУ описываемого типа зависит от силы натяжения трубчатых растяжек, называемых натяжными опорами, и практически не зависит от количества и диаметра опор основания, поддерживающих платформу. Поэтому диаметр опор такого основания определяют из условия их прочности, а не устойчивости и непотопляемости установки, т.е. используют небольшое количество опор сравнительно малых размеров любого профиля (рис. 24). При этом влияние на ППБУ сил волнового давления ничтожно мало. Сила натяжения растяжек равна весовому водоизмещению части понтонов, находящейся над ватерлинией установки в транспортном положении, т.е. до перевода ее в полупогруженное положение. При необходимости, которая может возникнуть в процессе монтажно-демонтажных работ, силу натяжения растяжек регулируют балластировкой понтонов основания, заполняя часть их полых секций водой.

Понтоны основания ППБУ, находящейся в рабочем положении, погружены под уровень воды обычно на величину, которая больше возможной величины изменения этого уровня на данной акватории из-за приливов и отливов. Поэтому сила натяжения растяжек почти не зависит от изменения уровня воды вследствие приливов и отливов, и положение ППБУ ни относительно дна акватории, ни относительно придонного устья скважины не меняется и не осложняет процессов бурения.

По зарубежным оценкам, ППБУ с натяжными опорами в настоящее время устанавливают на глубинах моря до 800 м, а в будущем смогут устанавливать на глубинах до 2000 м. При этом стоимость ППБУ незначительно зависит от глубины моря (возрастает на 10–15 % с увеличением глубины моря от 150 до 600 м).

К достоинствам ППБУ на натяжных опорах можно отнести легкость транспортировки и монтажа. Раздельная транспортировка основания, растяжек и фундамента позволяет

Рис. 24. Схема полупогружной плавучей буровой установки "Тритон"



использовать для монтажа даже относительно короткие периоды хорошей погоды. Основание с буровой платформой может отсоединяться от натяжных опор без подъема фундамента, т.е. без потери скважины, и затем снова соединяться с опорами, что дает возможность безопасно использовать эту ППБУ на акваториях, где существует риск появления ледовых полей или айсбергов.

В аналитических обзорах по технике и технологиям освоения шельфа отмечается, что впервые ППБУ на натяжных опорах была установлена в 1984 г. на месторождении Хатон в британском секторе Северного моря [64]. Однако еще в

1968 г. такая идея была применена при изготовлении оригинальной конструкции ППБУ "Медуза", разработанной специалистами МГРИ им. С. Орджоникидзе\* под руководством профессора В.С. Владиславлева (рис. 25, а).

Установка состоит из цилиндрического понтона 1, четырех трубчатых опор 2, установленной на них рабочей площадки 3 с буровой мачтой и оборудованием, кольцевого балласта 4, укрепленного по оси понтона на решетчатой ферме, перемещающейся в центральном проеме понтона, и соединенного с понтоном при помощи трубчатых растяжек 5 якоря 6. Последний выполнен в виде металлической емкости переменной плавучести с центральным сквозным проемом для прохода бурового кондуктора 7 или бурильных труб 8.

Плавучесть якоря регулируют путем заполнения его водой или удалением ее из якоря нагнетанием воздуха по шлангу 9. Якорь со свободной от воды емкостью плавает на поверхности воды. Длину трубчатых растяжек подбирают в соответствии с глубиной моря в месте заложения каждой скважины.

В район бурения установку "Медуза" и ее якорь транспортируют буксирным судном раздельно. При буксировке понтон 1 находится на плаву, а балласт 4 поднят в крайнее верхнее положение с целью уменьшения сопротивления движению установки. На точке бурения балласт переводят в крайнее нижнее положение, что повышает остойчивость установки. Затем к установке буксируют якорь и соединенные с ним растяжки установленной длины, верхние концы растяжек соединяют с понтоном и открывают вентиль на шланге 9. Якорь медленно заполняется водой, опускается на дно моря и увлекает в подводное положение понтон установки.

При положении якоря на дне рабочая площадка возвышается над уровнем моря и не подвергается волновому воздействию, а понтон находится на глубине вне досягаемости наиболее сильного давления ветровых волн, затухающего с глубиной. Сила избыточной плавучести (выталкивающая сила) понтона, удерживаемого в подводном положении якорем с растяжками, равна весовому водоизмещению части понтона, возвышающейся над ватерлинией перед переводом установки в полупогруженное положение. При соответствующих значениях массы придонного якоря и водоизмещения понтона эта сила может быть достаточно большой, чтобы исключить вертикальные и горизонтальные колебания установки из-за из-

---

\* Ныне Московская государственная геолого-разведочная академия им. Серго Орджоникидзе (МГГА).

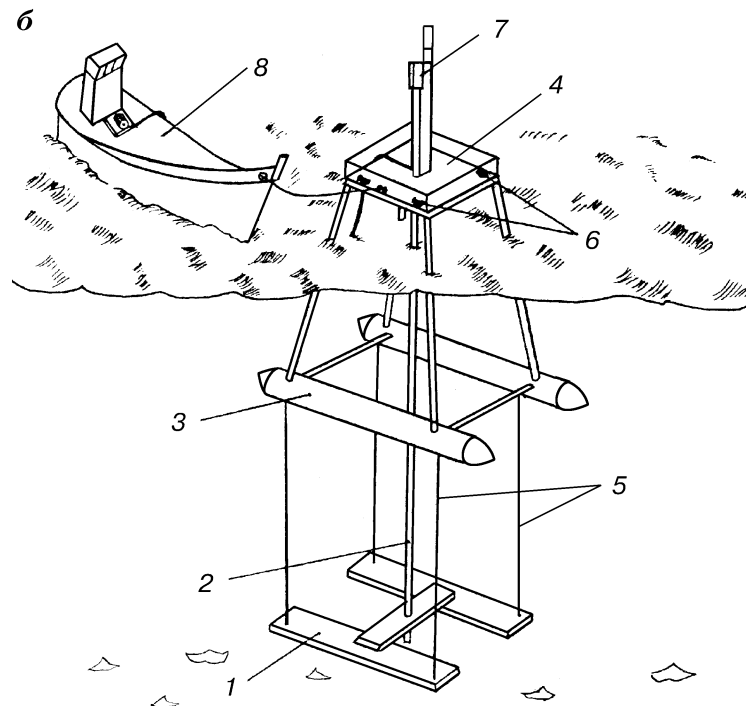
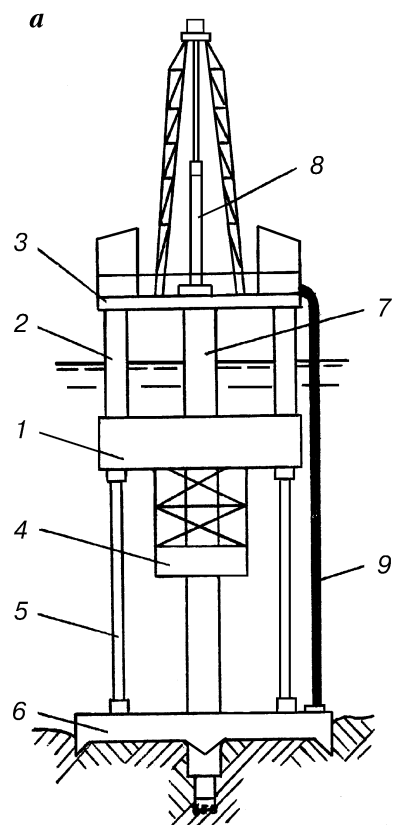


Рис. 25. Принципиальные схемы легких полупогружных плавучих буровых установок:

‡ – “Медуза” (Россия); • – “Скат-600” (Великобритания)

менения ее нагружения в процессе бурения, ветровых и волновых нагрузок, сил давления течений и т.п.

Опытный образец установки "Медуза" был испытан на акватории Японского моря и показал хорошие результаты бурения ударным и вибрационным способами с помощью погружаемых в породы обсадных труб диаметром 0,146 м и вращательным способом твердосплавными коронками диаметром 0,112 м. В 1974–1977 гг., т.е. примерно на 5 лет позже, специалистами английской фирмы Seacore Ltd. была разработана близкая к установке "Медуза" ППБУ "Skate-600". Конструктивную близость этих установок впервые отметил А.В. Лукошков [30].

Установка "Skate-600" (рис. 25, б) включает донную якорную плиту 1 с направляющим отверстием для бурового кондуктора 2 и затапливаемый понтон-катамаран 3 с рабочей площадкой 4, смонтированной на четырех трубчатых опорах; эти опоры используются также в качестве направляющих для тросов 5, идущих с индивидуальных лебедок 6 на якорную плиту. Для снижения опрокидывающего момента размеры рабочей площадки установки сведены к минимуму, а все оборудование, за исключением бурового станка 7, размещается на палубе обслуживающего судна 8 длиной около 10 м.

## 2.4. МОРСКИЕ БУРОВЫЕ СУДА

В практике бурения разведочных скважин на море широко применяют однокорпусные и многокорпусные самоходные и несамоходные суда. С середины 50-х до конца 70-х годов для бурения использовались только суда с якорной и закорной системами стабилизации, их удельный вес в парке плавучих буровых установок составлял 20–24 %. Область применения для бурения судов с якорной системой стабилизации ограничена глубинами моря до 300 м.

Новые перспективы в освоении морских месторождений открылись в 1970 г. благодаря созданию системы динамического позиционирования, использование которой позволило установить ряд рекордов по глубине разведываемых акваторий. С этого времени произошел относительно быстрый рост мирового парка судов для бурения на больших глубинах моря.

Примерами зарубежных судов с динамической системой стабилизации являются "Пеликан" (до глубины моря 350 м), "Седко-445" (до 1070 м), "Дисковерер Севен Сиз" (до 2440 м),

"Пелерин" (до 1000 м первое и до 3000 м второе поколения), "Гломар Челенджер" (до 6000 м, фактически покорена глубина моря 7044 м), "Седко-471" (до 8235 м).

*Самоходные буровые суда* бывают однокорпусными и двухкорпусными (катамараны). В отечественных производственных организациях используются преимущественно однокорпусные. Обусловлено это меньшими капитальными затратами на их изготовление, так как они создавались на базе готовых проектов корпусов рыболовецких судов.

Однокорпусные буровые суда типа "Диорит", "Диабаз", "Чароит", "Кимберлит", эксплуатировавшиеся в производственных экспедициях ВМНПО "Союзморинжгеология", оснащены якорной системой стабилизации, буровыми станками шпиндельного типа и технологическим оборудованием для проведения инженерно-геологических изысканий при глубине воды от 15 до 100 м.

Опыт бурения с этих судов выявил ряд их конструктивных недостатков, основными из которых являются ненадежная система стабилизации на скважине, малые размеры буровой площадки и ограниченное число посадочных мест из-за использования серийных корпусов рыболовецких судов, невозможность передачи на забой необходимой осевой нагрузки при бурении станками шпиндельного типа без компенсаторов вертикальных перемещений бурового снаряда, невозможность проведения комплекса скважинных геотехнических исследований и отбора монолитов вдавливанием из-за использования бурильной колонны геолого-разведочного сортамента диаметром 0,050–0,064 м. Единственный вид скважинных исследований, которые можно производить с этих судов, — это прессиометрия [55].

Примером буровых судов, способных работать на акваториях с глубинами 30–300 м, могут служить "Бавенит" и "Бакерит" финской постройки. Они оборудованы якорной системой удержания для работы на глубинах моря до 80 м и системой динамического позиционирования для работы на глубинах свыше 80 м. Последняя система включает дизель-электрический привод, винторулевые колонки и два носовых подруливающих устройства.

Технологический комплекс каждого судна состоит из буровой установки, системы для проведения скважинных геотехнологических исследований (статическое зондирование и пробоотбор) и донной пенетрационной установки. Использование бурового кондуктора (водоотделяющей колонны) на этих судах не предусмотрено. Привод основных буровых ме-

ханизмов гидравлический, спускоподъемные операции механизированы.

Специализированных судов для бурения разведочных скважин на глубинах морей свыше 300 м в России в настоящее время нет.

Более перспективным типом судов для бурения разведочных скважин являются катамараны. По сравнению с однокорпусными судами такого же водоизмещения они имеют ряд преимуществ: более высокую остойчивость (амплитуда бортовой качки катамарана в 2–3 раза меньше, чем у однокорпусных судов), что позволяет работать в лучших условиях при сильном волнении моря (коэффициент рабочего времени двухкорпусных судов больше, чем однокорпусных, минимум на 25 %); более удобную для работы по форме и значительно большую (на 50 %) полезную площадь палубы (поскольку ис-

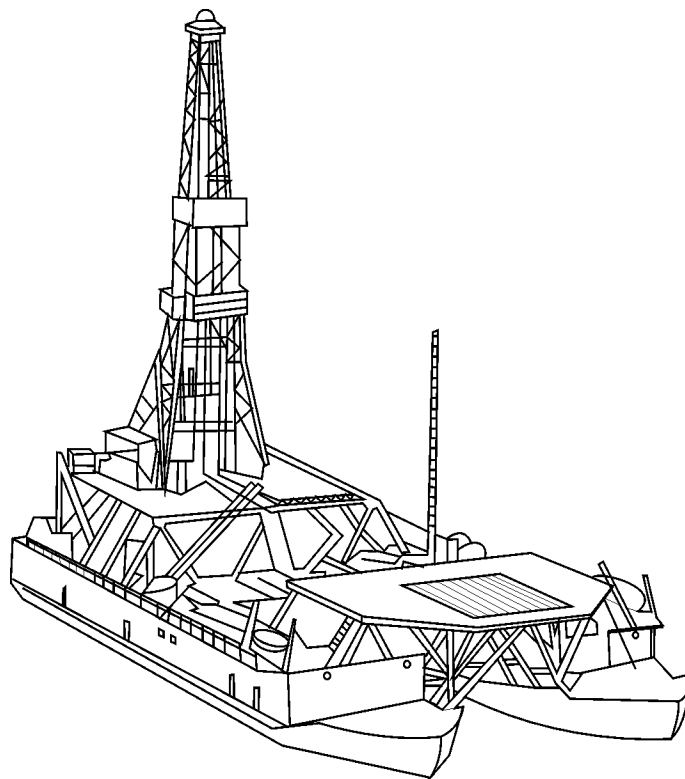


Рис. 26. Буровое судно "Катамаран"

пользуется межкорпусное пространство), что дает возможность разместить на палубе необходимое количество тяжелого бурового оборудования; малую осадку и высокую маневренность (каждый корпус снабжен ходовым винтом), что способствует использованию их в условиях мелководного шельфа. Стоимость постройки однокорпусного судна со сравнимой площадью рабочей палубы на 20–30 % выше стоимости судна-катамарана [47, 48].

Американская фирма "Ридинг энд Бэтес" построила буровое судно "Катамаран", состоящее из двух барж, скрепленных девятью балочными фермами (рис. 26). Длина судна 79,25 м, ширина 38,1 м. С него можно бурить скважины глубиной до 6000 м при любой глубине моря. На судне установлены: буровая вышка высотой 43,25 м с грузоподъемной силой 4500 кН; ротор; двухбарабанная лебедка с приводом от двух дизелей; два буровых насоса с приводом от двух других дизелей; цементировочный агрегат; резервуары для глинистого раствора; восемь якорных лебедок с электроприводом от двух дизель-генераторов переменного тока мощностью по 350 кВт; жилые помещения для 110 человек; площадка для вертолетов [20].

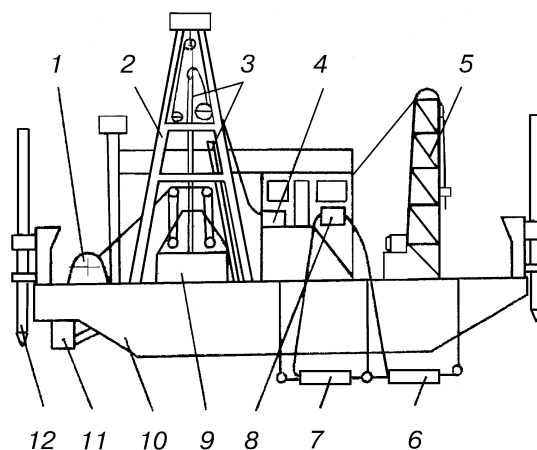
Из буровых судов-катамаранов значительно меньших геометрических и энергетических параметров следует отметить отечественные катамараны "Геолог-1" и "Геолог Приморья", техническая характеристика которых приведена ниже.

	"Геолог-1"	"Геолог Приморья"
Водоизмещение, т.....	330	791
Длина, м.....	24	35,1
Ширина, м.....	14	18,2
Осадка без груза, м.....	1,5	3,26
Высота надводного борта, м	1,7	4,47
Мощность дизель-генераторов, кВт:		
главных.....	2×106,7	2×225
вспомогательных.....	2×50	2×50
Скорость хода, узлы.....	8	9
Мореходность, баллы.....	6	8
Условия работы:		
удаление от берега, км.....	До 3	До 360
минимальная глубина моря, м.....	2	5
волнение моря, баллы.....	3	4

Минимальная глубина моря, на которой возможно бурение с катамарана, определяется величиной его осадки, максимальной — длиной якорных тросов. Возможные глубины бурения скважин зависят от типа установленных на катамаранах буровых установок.

Катамаран "Геолог-1" (рис. 27) построен специально для



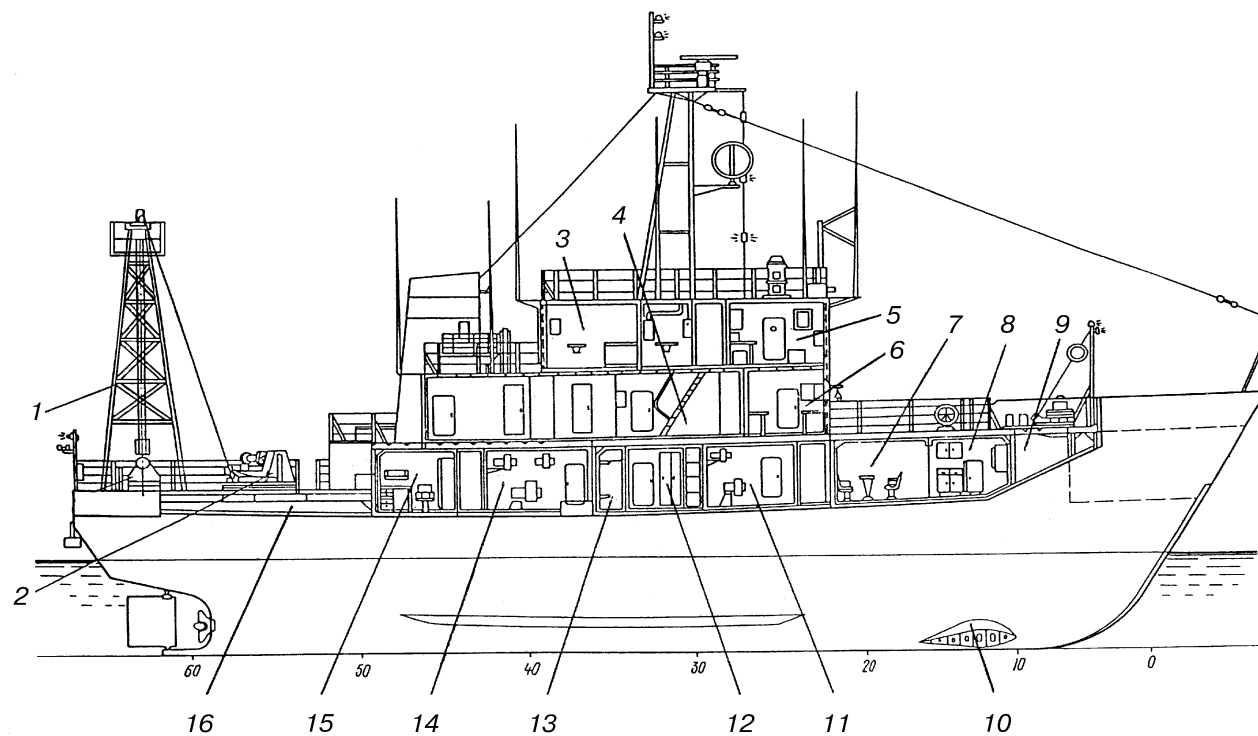


**Рис. 27. Схема размещения основного технологического оборудования для инженерно-геологических исследований на судне "Геолог-1":**

1, 2, 3, 4 — лебедка, копер, штанги пенетрационные, пульт управления и блок регистрации ПСПК-69 соответственно; 5 — установка буровая УГБ-50М; 6, 7, 8 — приемник, излучатель, блоки возбуждения и регистрации станции сеймопрофилирования "Грунт" соответственно; 9 — гидробак с гидросистемой и балластом ПСПК-69; 10, 11 и 12 — корпус, насадка направляющая движителя и свайное устройство судна соответственно

инженерно-геологических изысканий в прибрежных акваториях Черного моря. На катамаране смонтированы: установка УГБ-50М с электроприводом для бурения скважин глубиной до 30 м по породам ударным, колонковым и шнековым способами; подводная пенетрационно-каротажная станция ПСПК-69 для исследования физико-механических свойств мягких грунтов и установления литологического строения морского дна; сейсмоакустическая станция "Грунт" для непрерывного профилирования с целью получения сведений о литологическом строении морского дна по всей зоне между опорными скважинами. В точке исследования "Геолог-1" закрепляется четырьмя якорями, а на глубинах моря до 7 м — дополнительно двумя закольными сваями длиной по 8 м [6].

Буровое судно-катамаран "Геолог Приморья" (рис. 28) предназначено для геолого-съёмочных, инженерно-геологических, геофизических и разведочных работ в прибрежной части шельфа неарктических морей в безледовый период. Оно оборудовано Л-образной буровой вышкой высотой 10 м с грузоподъемной силой 300 кН; основным и вспомогательным оборудованием для бурения на акваториях с глубинами



до 50 м разведочных скважин глубиной до 50 м по породам ударно-забивным, вращательным и вибровращательным способами, а также для бурения по схеме с пневмогидротранспортом керна, отбора донных проб дночерпателями, колонковыми породотборниками и волочащейся драгой. В точке бурения катамаран "Геолог Приморья" удерживается четырьмя якорями массой по 900 кг каждый. Постановку якорей производят с борта катамарана без применения вспомогательных плавсредств.

В палубе катамаранов "Геолог-1" и "Геолог Приморья" имеются П-образные вырезы для отхода катамарана от скважины без извлечения обсадных труб, например на время шторма или ремонта, и последующего подхода к скважине для продолжения бурения.

*Несамостоятельные плавучие буровые установки* создают, используя в качестве основания не предназначенные для бурения несамоходные суда (баржи, плашкоуты, шаланды), деревянные плоты или специально изготовленные для бурения металлические понтоны, катамараны и тримараны.

Из несамоходных судов чаще всего используют баржи. Из всего многообразия типов барж не все пригодны для производства буровых работ на море. Наиболее удобна сухогрузная баржа с открывающимися в днище люками, благодаря чему буровой станок можно установить в центре баржи. Перед производством работ баржу загружают балластом для придания ей большей устойчивости.

Иногда для бурения применяют две однотипные баржи, спаренные поперечными брусками. Образуется катамаран с зазором между баржами, в котором размещается устье скважины. Спаривание барж позволяет применять тяжелые буровые установки и вести бурение в неблагоприятных гидродинамических условиях моря.

Буровые плоты наиболее доступны в изготовлении. Тяжелые плоты глубоко погружены в воду. Это повышает их устойчивость, но увеличивает осадку и не исключает захлестывание оборудования даже небольшой волной. Со временем плоты теряют свою плавучесть, и срок службы их сравнительно небольшой.

---

**Рис. 28. Геолого-разведочное судно "Геолог Приморья":**

1 — буровая вышка; 2 — инструментальная лебедка; 3–9 и 11–15 — рубки судовые, каюты и отсеки производственного и бытового назначения; 10 — подводное крыло; 16 — подвышечное основание

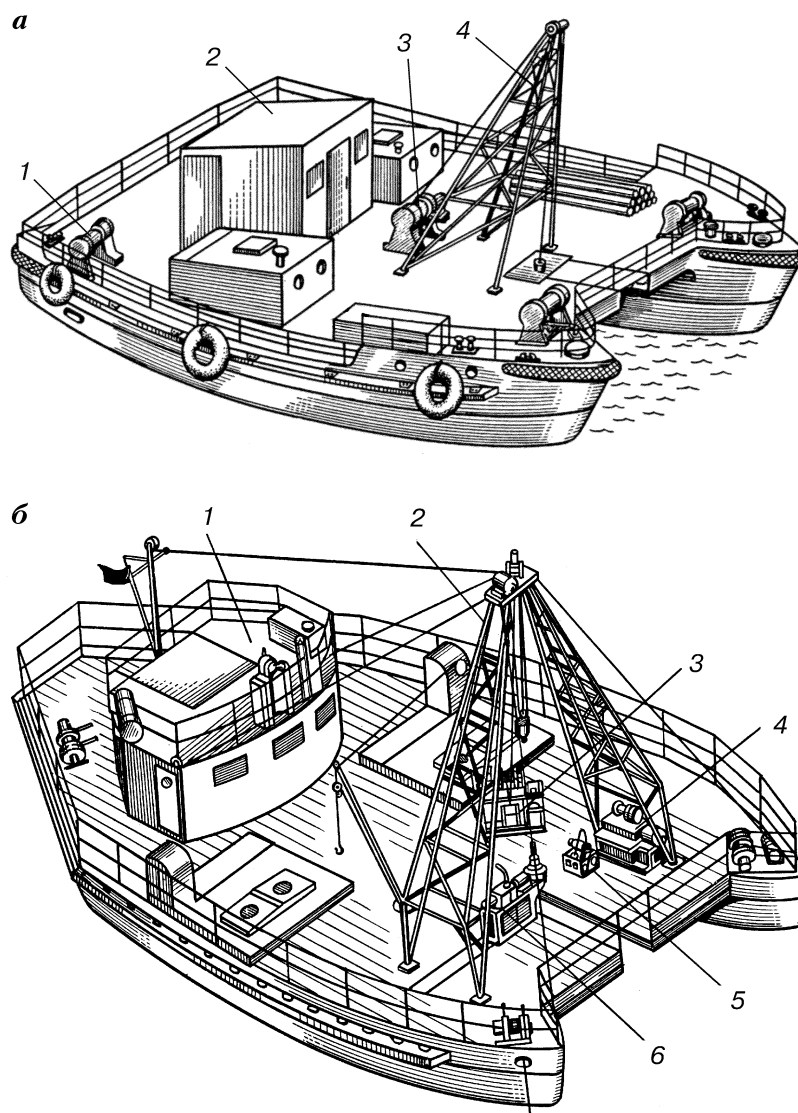
Буровые металлические понтоны по водоизмещению делят на легкие площадью 30–40 м<sup>2</sup> и тяжелые площадью 60–70 м<sup>2</sup>. Остойчивость понтонов невысокая, и используют их преимущественно на закрытых акваториях при волнении моря до 2 баллов.

В России при бурении на шельфе дальневосточных морей широкое применение получили катамараны типа “Амур” и тримараны типа “Приморец”, представляющие собой суда маломерного флота с ограничением плавания по волновому состоянию моря до 5 баллов. Первые несамоходные. Вторые могут передвигаться самостоятельно со скоростью до 4 узлов в тихую погоду на небольшие расстояния в пределах разведываемой бухты. Однако их тоже относят к несамоходным, так как условия работы в подавляющем большинстве случаев вынуждают использовать для их буксировки вспомогательные суда. Указанные катамараны и тримараны разработаны СКБ АО “Дальморгеология” для бурения ударно-забивным и вращательным способами разведочных скважин конкретных параметров и имеют следующие технические характеристики:

	<i>Катамаран “Амур”</i>	<i>Тримаран “Приморец”</i>
Длина, м.....	13,6	18,60
Ширина, м.....	9,0	11,80
Высота борта, м.....	1,5	1,85
Осадка, м.....	0,8	0,95
Водоизмещение, т.....	40	65
Число и масса (кг) якорей...	4×150	4×250
Грузоподъемная сила буровой вышки, кН.....	200	300
Параметры скважины, м:		
глубина по воде.....	25	50
глубина по породам.....	25	50
Максимальный диаметр по колонне обсадных труб.....	0,146/0,166	0,219/0,243

Катамаран “Амур” — ПБУ с двумя параллельными корпусами серийных крабовых ботов, соединенными в верхней части плоским мостом из стального проката, образующим общую палубу (рис. 29, а). Энергосиловое и вспомогательное оборудование установки расположено в корпусах катамарана, что увеличило рабочую площадку. На палубе установлены А-образная буровая вышка, лебедка для ударно-забивного бурения, вибратор, обсадные трубы, рабочий инструмент, рубка, четыре якорные лебедки.

Тримаран “Приморец” — ПБУ с тремя корпусами серийных судов, соединенными плоским мостом из стального проката (рис. 29, б). Ходовой двигатель и винторулевое устрой-



**Рис. 29. Плавучие буровые установки АО "Дальморгеология":**  
*а* — ПБУ "Амур": 1 — якорная лебедка, 2 — рубка, 3 — буровая лебедка, 4 — буровая вышка; *б* — ПБУ "Приморец": 1 — надстройка, 2 — буровая вышка, 3 — буровая лебедка, 4 — талевая лебедка, 5 — вибратор, 6 — вращатель

ство размещены в среднем корпусе, смещенном в корму относительно боковых. Дизель-генератор и промывочный насос расположены в двух параллельных боковых корпусах тримарана. На палубе в кормовой части установки находится надстройка бытовых и служебных помещений, в носовой — размещено буровое оборудование, содержащее Л-образную буровую вышку, лебедку для ударно-забивного бурения, талевую оснастку и лебедку для подъема труб, вращатель и вибратор.

В палубе ПБУ "Амур" и "Приморец" имеются П-образные вырезы для отхода установки от скважины без извлечения обсадных труб на время шторма, плохой видимости или ремонта и последующего подхода к скважине для продолжения бурения. Непотопляемость и устойчивость этих установок сохраняются при затоплении любого одного отсека.

## 2.5. ПОДВОДНЫЕ БУРОВЫЕ АГРЕГАТЫ

Подводные буровые агрегаты или станки (ПБА или ПБС) состоят из исполнительных и приводных механизмов, способных работать под толщей воды и обеспечивать многократное цикличное выполнение всех технологических операций при бурении скважин: спуск, подъем и наращивание бурового снаряда, разрушение пород забоя, отбор керна или непосредственный замер его характеристик в скважине [26, 31, 62].

По способу управляемости ПБА подразделяют на обслуживаемые людьми, находящимися под водой, и управляемые дистанционно (табл. 2). Первые, в свою очередь, подразделяются на обитаемые и необитаемые. ПБА с дистанционным управлением работают по командам операторов, находящихся на обслуживающем судне, и подразделяются по технологическому циклу на агрегаты с челночной подачей керноприемников к агрегату с судна и обратно и с кассетированием керноприемников непосредственно на рабочей площадке (платформе) ПБА.

Наиболее простыми по конструкции являются *необитаемые ПБА*, обслуживаемые водолазами. Они представляют собой наземные буровые станки, приспособленные для бурения под водой путем герметизации узлов, прекращающих работу при попадании в них воды. Энергия для привода таких станков чаще всего подается по кабелю с поверхности.

Примером подводных буровых станков, обслуживаемых

Таблица 2

## Краткая характеристика некоторых подводных буровых станков (ПБС)

Показатели	Марка станка						
	Обслу-живаемые водола-зами	Оби-та-емые	Дистанционно управляемые				
			ПБС ДГУ	“Гео-нур”***	МД-150	ПКБС-30	ПАБУ-25*
Страна-разра-ботчик	СССР	Поль-ша	Япо-ния	СССР	СССР	ФРГ	Вели-кобри-тания, Шве-ция
Глубина погру-жения, м	30	40	150	200	300	200	200
Глубина бурения, м	20	100	До 100	30	30	100	До 120
Диаметр бурения, м	До 0,076	—	0,068	0,076	0,132	До 0,203	До 0,076
Масса станка, т	0,75	34	5	6	5	—	14
Способ отбо-ра керна	С кассетированием керноприемников на платформе					С челночной подачи керно-приемников на судно	
Способ бурения	В р а щ а т е л ь н ы й						
Мощность привода, кВт	8,8	—	—	35	15,5	—	8,0
*Позволяет бурить также ударно-вращательным и ударным способами.							
**Буровые механизмы работают от сжатого воздуха, запаса которого хватает на 72 ч.							

водолазами, может служить ПБС ДГУ, разработанный Донецкой лабораторией подводных исследований “Ихтиандр”. ПБС ДГУ состоит из трехпорной рамы с винтовыми домкратами, на которой смонтированы буровой станок ГП-1 шпиндельного типа, лебедка для извлечения бурового инструмента из скважины, пневмодвигатели станка и лебедки. Бурение ведется с продувкой скважины воздухом, подаваемым от находящегося на берегу компрессора, а также без промывки и продувки с расхаживанием бурового снаряда по схеме безнасосного бурения.

*Обитаемые ПБА* — это специальные аппараты или подводные лодки с установленными в них механизмами системы жизнеобеспечения команды и оборудованием для бурения скважин. Управление процессом бурения при этом осуществляется командой с пульта, находящегося внутри ПБА. Необ-

ходимые для работы электроэнергия, воздух, вода, материалы, инструмент и пр. могут находиться непосредственно на ПБА или подаваться к нему с поверхности (с судна) по кабелю и шлангам. В первом случае обитаемые ПБА являются автономными, во втором — полуавтономными.

Примером обитаемых ПБА является подводный аппарат "Геонур". Он представляет собой сужающуюся кверху цилиндрическую конструкцию высотой 9 м с тремя отсеками: верхний — декомпрессионная камера, в среднем смонтировано буровое оборудование, нижний — рабочее помещение и лаборатория. Персонал работает при повышенном давлении сжатого воздуха.

Заслуживают внимания проекты обитаемых ПБА для бурения подо льдом, так как в этих условиях затруднена эксплуатация различного рода буровых платформ и судов. К одному из таких проектов относится американская буровая установка, включающая покоящуюся на дне подводную часть с людьми и буровым оборудованием и соединенные с ней направляющие, удерживаемые в натянутом состоянии плавучим модулем, который может находиться во временном "окне", сделанном в ледяном покрове. По направляющим в транспортной капсуле опускается в подводную часть и поднимается на поверхность рабочая бригада.

Изобретателями многих стран предлагаются различные варианты использования подводных лодок для бурения на дне. В частности, Н.Я. Розенштейном предложена установка для бурения скважин в морских условиях, представляющая собой подводную лодку, в центральной части которой смонтирована буровая установка (а.с. № 95713). В месте бурения лодка закрепляется электробурами, которые внедряются в грунт. Бурильные и обсадные трубы опускаются в скважину через превентор. Циркуляция промывочной жидкости замкнутая, с очисткой от шлама внутри лодки. Персонал находится в лодке при атмосферном давлении воздуха.

С 1996 г. решением проблем создания подводной лодки для геологоразведки (ПЛАГ) занимаются совместно несколько организаций нашей страны: ВНИИ методики и техники разведки (ВИТР), ВНИИ океанологии, ГП "Севморгеология", ЦНИИ им. акад. Крылова, ЦНИИ морского флота, АО "Морская техника" и др. Ими разработаны предложения по комплексу геолого-разведочного оборудования, конструкции корпуса и основных технических средств ПЛАГ, рассчитаны ожидаемые технико-экономические показатели ее применения.



Разработкой *подводных буровых агрегатов с дистанционным управлением* широко занимаются западногерманские, американские, японские, финские, английские, французские и шведские фирмы.

Японской фирмой "Кокен Боринг" в 1984 г. был поставлен Мингазпрому СССР подводный буровой станок МДС-100/100 АН. Он эксплуатировался с борта судна "Триас" при проведении изысканий на шельфе о. Сахалин. Станок работал по схеме с челночной подачей труб с судна и обратно с помощью специальной транспортной капсулы, перемещающейся по двум направляющим тросам. Такая схема требовала надежного удержания судна над местом нахождения станка и создавала ряд технологических проблем, которые не позволили раскрыть все достоинства станка.

Из ПБС с челночной подачей кернаприемников можно отметить ВИРТ В1А и "Марикор", так как они по своим характеристикам (глубины и диаметры бурения) ближе других к требованиям, предъявляемым к бурению разведочных скважин, установленных выше параметров. Первый станок разработан западногерманской фирмой "Альфред Вирт", второй сконструирован шведской фирмой "Атлас Копко" по заказу английской строительной фирмы "Георг Вимпи лимитед".

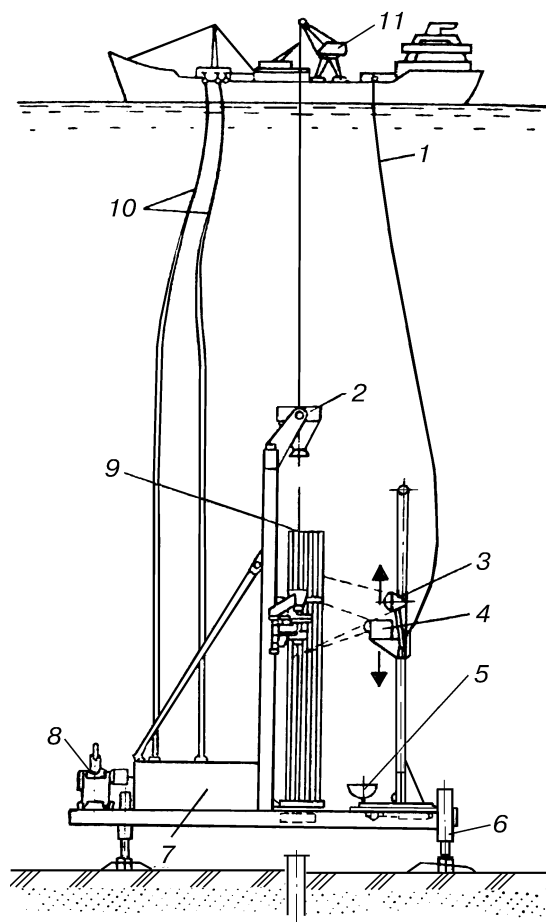
Работа ПБС ВИРТ В1А на глубине контролируется подводной телекамерой. Его конструкция (рис. 30) включает кабель управления 1, направляющую воронку 2 для кернаприемников, прожектор 3, передвигающуюся подводную телевизионную установку 4, прибор для контроля горизонтальности положения бурового основания 5, гидродомкраты 6 для выравнивания бурового основания, силовой привод 7, насос буровой 8, магазин с бурильными трубами 9, шланг для подачи масла и электрокабель 10, судовой кран 11 для спуска и подъема станка.

При бурении станками ВИРТ В1А и "Марикор" кернаприемник каждый раз после наполнения его керном по направляющим тросам поднимается на борт судна, а вместо него опускается пустой.

Примером портативного бурового агрегата с кассетированием на нем кернаприемников может служить японский буровой станок МД-150, используемый на научно-исследовательском судне "Хакухо-мару" для разведки месторождений полезных ископаемых.

Из зарубежных ПБА с кассетированием на нем кернаприемников наибольшего внимания заслуживает система BMS, построенная в 1966 г. фирмой Williamson and Associates, Inc.

Рис. 30. Подводный буровой станок ВИРТ В1А



(США) по заказу Японии. В литературе отмечается, что ВМС представляет второе поколение управляемых на расстоянии донных систем керноотбора и характеризуется следующими основными показателями:

Глубина бурения, м:		Габариты, м:	
по воде.....	До 6000	длина.....	4,5
по породам.....	20	ширина.....	3,5
Диаметр керна, м.....	$44 \cdot 10^{-3}$	высота.....	5,9
Мощность привода, кВт	24	Масса, т.....	5,0

Система использует классические инструменты для отбора проб грунтов и скальных пород. Взятие керна сопровождается

ся подъемом бурильной колонны. Накопительные магазины содержат шесть 3-метровых бурильных труб диаметром 0,059 м, десять керноотборников и шесть 1,5-метровых секций обсадной колонны. Для бурения используется алмазная коронка, но могут применяться забивные грунтоносы и шнековые буры. Все механизмы станка оснащены гидроприводами и датчиками обратной связи.

Система управления станка позволяет выполнять все производственные операции в ручном и автоматическом режимах.

Установка оснащена также одной цветной и четырьмя черно-белыми камерами, три из которых дают вид на посадочные опоры, а одна используется для отображения операций по манипулированию инструментами. Цветная камера дает общее изображение. Отмечается, что пользоваться видеокамерами при работе практически не удастся из-за замутнения воды. Установка оснащена также четырьмя винтовыми группами для подрывания при посадке на дно. Опускается установка на кабель-тросе лебедкой судна.

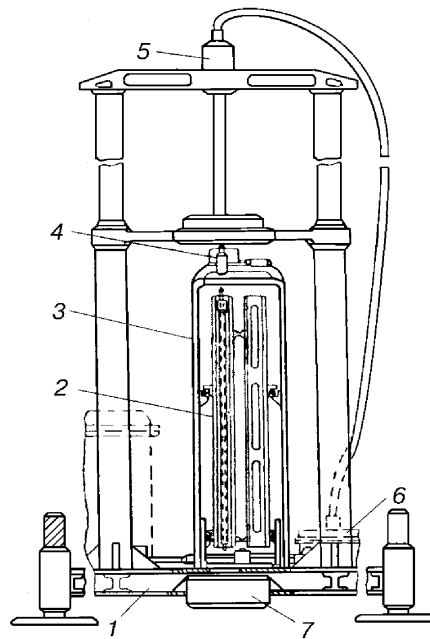
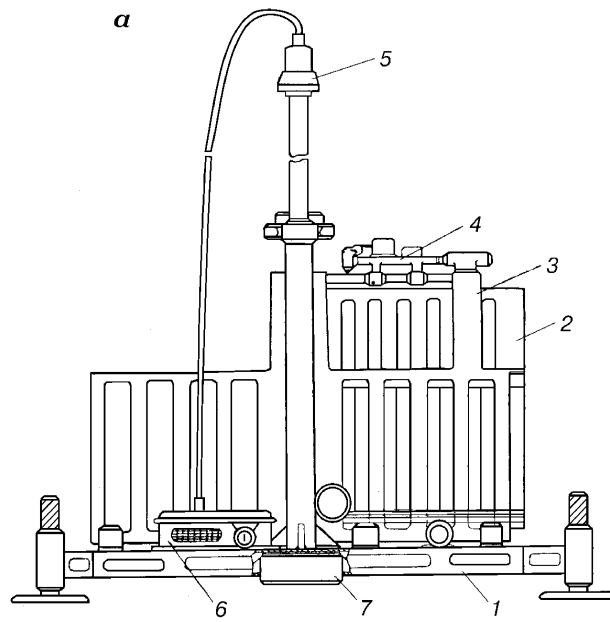
В имеющихся материалах нет данных о практическом применении системы BMS: керн отбирался из расположенной на суше скважины, обсаженной трубами диаметром 0,150 м, заполненными слоями бетона, песчаника, сланца, андезита и гранита. При погружении установки на глубину 1200 м речь шла только о взятии проб базальта.

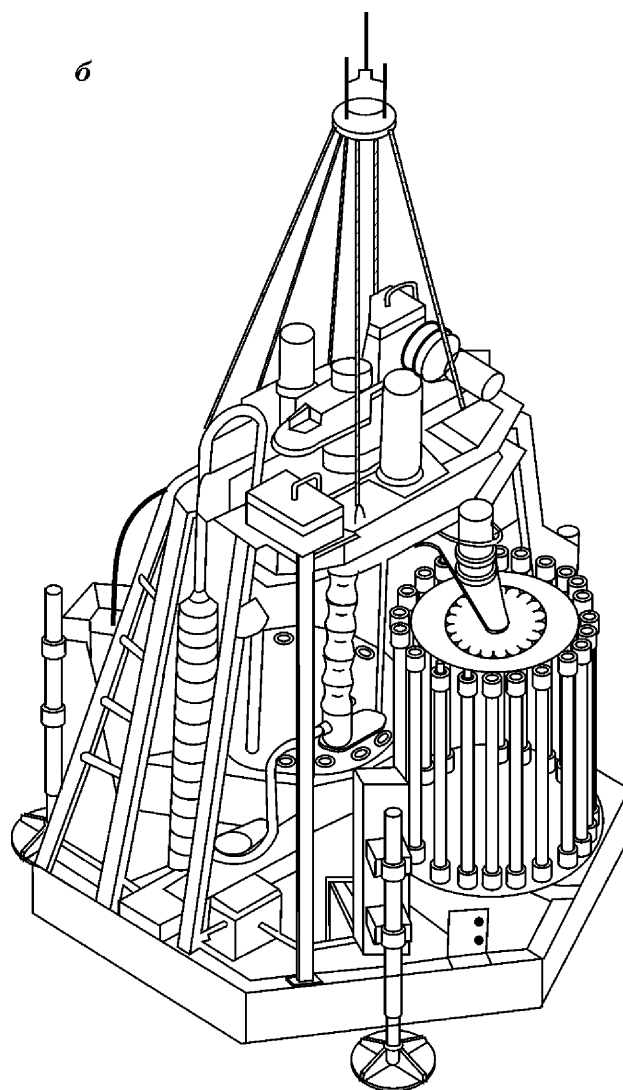
В нашей стране специалистами Ленинградского горного института (ЛГИ)\* разработана конструктивная схема подводного кассетного бурового станка (ПКБС), работающего в автоматическом режиме [26, 43]. Структурная схема процесса включает 16 элементарных операций, выполняемых с помощью механизмов. Шесть из них определены как рабочие ходы, а десять — как холостые. Выполнение ряда операций совмещено во времени. Станок полностью гидрофицирован, в нем использованы серийные аксиально-поршневые гидродвигатели и гидроцилиндры (рис. 31, а).

ПКБС предназначен для бурения вращательным способом геолого-разведочных скважин со дна моря с использованием снарядов со съёмными керноприемниками типа КССК-76 и характеризуется следующими основными техническими показателями:

---

\*Ныне Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет).





**Рис. 31. Конструктивные схемы (общий вид):**  
*а* — подводного станка ПКБС (ЛГИ); *б* — макета подводной установки ПАБУ-25 (МИНХ и ГП); 1 — основание; 2 — кассета с бурильными трубами и керноприемниками; 3 — обойма; 4 — узел извлечения съемных керноприемников; 5 — вращатель с ведущей штангой; 6 — промывочный насос; 7 — трубодержатель и труборазворот

Длина керноприемника, м.....	1,94
Диаметр керна, м.....	0,04
Тип вращателя.....	Подвижной
Привод вращателя.....	От гидродвигателя
Частота вращения снаряда, об/мин.....	20 – 200
Марка промывочного насоса.....	ГНБ-1
Подача насоса, л/мин.....	60
Давление насоса, МПа.....	До 4
Мощность двигателя, кВт.....	25
Габариты, м:	
длина × ширина × высота.....	5×3×7
Масса, кг.....	5000

Все операции станок выполняет автоматически в соответствии с циклограммой, определяющей порядок, время и количество совмещаемых операций.

В процессе бурения поинтервально отбирается керн с помощью съёмных керноприемников. Комплект бурильных и керноприемных труб размещен в одной из секций двухсекционной кассеты, которая установлена на направляющих в обойме и перемещается относительно нее в продольном направлении. Обойма в свою очередь может перемещаться в поперечном направлении относительно направления кассеты. В процессе бурения обойма занимает положение, при котором снаряженная секция кассеты находится в плоскости оси скважины. Керноприемники размещены в бурильных трубах и подвешены в кассете независимо от них. Вращатель установлен на траверсе, соединенной со штоками гидроцилиндров подачи. На валу вращателя укреплен ведущая труба. Основание станка над устьем скважины оборудовано гидравлическим захватом и труборазворотом для свинчивания и отвинчивания бурильных труб.

Подача бурильных труб и съёмных керноприемников осуществляется продольным перемещением кассеты. После забуривания каждой трубы при помощи узла извлечения производят подъем съёмного керноприемника и его установку в ячейку, в которой он находился до подачи в бурильную колонну. После совершения кассетой полного хода бурение прекращается, при этом все бурильные трубы находятся в скважине, а съёмные керноприемники с отобранным керном — в своих ячейках. По окончании бурения скважины бурильные трубы размещаются в свободной секции кассеты и она перемещается в обратном направлении.

После извлечения последней трубы кассета устанавливается в исходное положение. При этом в одной секции размещаются съёмные керноприемники с отобранным керном, а в другой — бурильные трубы. В процессе бурения скважина промывается морской водой.

В 1983—1986 гг. по результатам исследований ЛГИ процесса бурения скважин в автоматическом режиме специалистами ВНИИ океангеологии, ЛГИ и СКБ ТМГРЭ был разработан проект бурового станка ПКБС-30 (см. табл. 2), отличающегося оригинальной конструктивной схемой со сдвоенной линейной кассетой (а.с. № 1059115)\*.

Известны и другие конструкции отечественных станков для подводного бурения. Например, специалистами МИНХ и ГП им. И.М. Губкина по заказу Мингазпрома выполнялись работы по созданию подводной установки для бурения скважин при инженерно-геологических изысканиях в зоне шельфа. Был разработан проект подводной автоматизированной буровой установки ПАБУ-25 (рис. 31, б), включающей трехопорную раму, на которой монтируются:

- собственно буровой механизм, обеспечивающий возможность бурения скважин с помощью вращательного, ударно-вращательного и ударного способов;

- система хранения, спуска и подъема бурильных и керноприемных труб на базе двух револьверных барабанов и лебедки;

- система промывки на базе погружного скважинного центробежного насоса, которая также обеспечивала возможность размыва грунта под опорами и платформой с целью отрыва установки от дна;

- система привода, дистанционного и программного обеспечения.

Испытания действующего макета ПАБУ-25 показали, что его механическая система способна выполнять все операции по углублению скважины, наращиванию бурильной колонны и отбору керна.

Важнейшей задачей инженерно-геологических исследований является определение свойств грунтов, которыми они обладают в их естественном залегании. Однако при бурении и подъеме керна слабых глинистых грунтов и илов на поверхность неизбежно происходит некоторое нарушение их свойств. Это связано с увеличением объема поровой воды, выходом растворенных газов и изменением объемного напряженного состояния грунтов при изменении гидростатического давления. Иногда образцы при извлечении из скважины увеличиваются в объеме на 20 % и более. Лабораторные испытания таких образцов приводят к значительным погрешностям, особенно при определении сопротивления сдвигу исследуемых грунтов [29].

\*См. также "Техника и технология бурения на море разведочных скважин на твердые полезные ископаемые"(Обзор ВИЭМС. — М., 1989).

С целью получения более достоверных данных при инженерных изысканиях на море, как и на суше используют устройства и установки для определения свойств грунтов непосредственно в буровой скважине механическими и радиоизотопными методами:

статического зондирования для измерений лобового сопротивления грунта (его модуля деформации) и трения по боковой поверхности датчика с целью определения коэффициента трения и ползучести грунта;

гамма-гамма-каротажа (ГГК) для определения средней плотности грунтов;

гамма-каротажа (ГК) для расчленения разреза осадочных грунтов по их естественной радиоактивности;

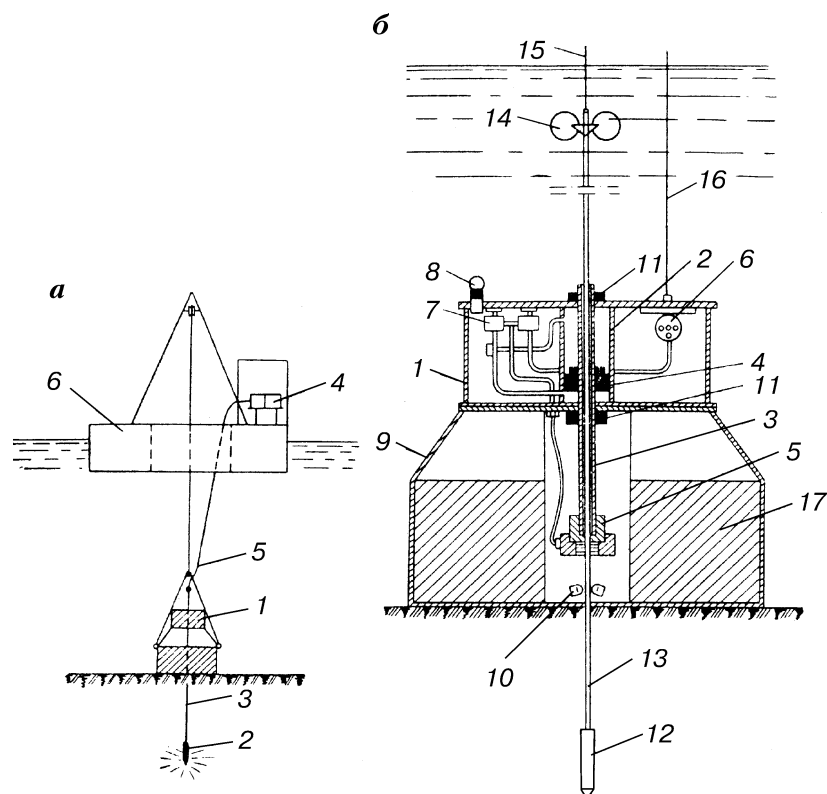
нейтрон-нейтронного каротажа (ННК) для определения влажности грунтов и установления уровня подземных вод.

Принципиально эта задача решается следующим образом. Измерительный зонд, содержащий датчики для определения необходимых свойств пород, навинчивается на нижнюю буровую трубу и вдавливается в грунт. В процессе погружения зонда датчики регистрируют параметры требуемого свойства и по пропущенному внутри буровых труб кабелю передают информацию на пульт регистрирующей аппаратуры, находящейся на поверхности. Здесь автоматически осуществляется запись измеряемых параметров грунта на лентах самописцев в виде непрерывных диаграмм. Этот принцип заложен в подводных станциях пенетрационного каротажа (ПСПК).

В общем виде ПСПК (рис. 32, а) представляет собой контейнер 1, в котором смонтированы механизмы для вдавливания в грунт и извлечения из него измерительного зонда 2 на колонне пенетрационных штанг 3, соединенных при помощи кабеля 5 с пультом управления и регистрирующей аппаратурой 4, установленной на судне 6.

Конструкция непосредственно ПСПК (рис. 32, б) включает герметичный контейнер 1, вмонтированный в него гидравлический цилиндр 2 с полым штоком 3, поршнем 4 и установленным на нижнем конце штока гидравлическим зажимным патроном 5, электродвигатель 6 для обеспечения работы гидросистемы 7 с компенсатором 8 и бесконтактные конечные переключатели 11 хода штока. Контейнер 1 жестко смонтирован на несущей ферме 9 с балластной камерой 17 и держателями 10 колонны штанг. Для питания измерительных дат-





**Рис. 32. Схема ПСПК:**  
*а* — общий вид; *б* — устройство станции

чиков зонда 12 и получения от них информации колонна штанг 13, поддерживаемая поплавками 14, соединена кабелем 15 с установленными на судне пультом управления и регистрирующей аппаратурой. Питание электромотора 6 и управление режимом работы станции обеспечиваются при помощи силового кабеля 16.

В нашей стране создана и использовалась на шельфе Черного моря с судна "Геолог-1" подводная станция пенетрационного каротажа ПСПК-69 со следующими техническими показателями [29]:

Максимальная глубина, м:	
погружения установки под воду .....	35
вдавливания зонда .....	30
Рабочее давление в гидросистеме, МПа.....	9

Максимальное усилие вдавливания, кН.....	140
Максимальная скорость вдавливания, м/с	0,1
Диаметр, м:	
колонны пенетрационных труб.....	0,0635
наконечника измерительного зонда.....	0,07 и 0,08
Масса погружной установки, т.....	18

Большие объемы инженерно-геологических изысканий на море с применением пенетрационных методов скважинного каротажа выполнялись в ВМНПО "Союзморинжгеология". Для этих целей инженерно-геологическое судно "Бавенит" было оснащено соответствующим комплексом оборудования для пробоотбора и скважинной пенетрации, созданным в Нидерландах. В СКБ ВМНПО "Союзморинжгеология" с 1981 по 1983 г. выполнены конструкторские работы по созданию подводной станции пенетрационного каротажа ПСПК-200 для инженерно-геологических судов с глубиной бурения до 200 м по породам на глубинах моря до 200 м.

Несмотря на многообразие проектов подводных буровых станков, данных об их практическом применении в литературе не опубликовано. Обусловлено это отсутствием до сих пор ПБА, надежно работающего в воде под большим давлением.

В последние 10 лет в России к работам по созданию ПБС привлечены специалисты ВНИИ методики и техники разведки (ВИТР), которые предложили свою концепцию создания подводной буровой установки, отличающуюся от системы ВМС. В основу концепции ВИТРа положено применение снарядов со съемными керноприемниками, что позволяет отказаться от использования обсадных труб, комплекса технических средств и операций с ними. Извлечение съемных керноприемников из скважины предлагается осуществлять выносом их обратным потоком промывочной жидкости. Метод экспериментально апробирован на полигоне ВИТРа.

ВИТР располагает положительным опытом создания роботизированного бурового комплекса РБК-4, который выполняет в автоматическом режиме все необходимые процессы сооружения скважины на суше. Это создает предпосылки для успешного решения в скором будущем вопросов по созданию дистанционно управляемой многорейсовой подводной буровой установки. На первом этапе предполагается создание установки для бурения геолого-разведочных скважин глубиной до 50 м по породам при глубинах моря до 500 м.

## **2.6. ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ОСНОВАНИЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН НА МОРЕ**

Обобщенные параметры разведочных скважин, требования качества, высоких скоростей и экономической эффективности бурения в сложных условиях моря позволяют сформулировать комплекс критериев, по которым следует оценивать типы буровых оснований с целью выбора наиболее рациональных. Основными критериями эффективности этого комплекса являются мобильность основания, безопасность работы бурового персонала, соблюдение экологических требований, качество выполнения работ, коэффициент использования рабочего времени, техническая и экономическая эффективность.

Эти критерии перечислены в порядке их важности и практической целесообразности рассмотрения при выборе рационального типа основания. Если после оценки типов оснований по очередному критерию в качестве рационального остается один тип, то оценивать нерациональные типы оснований по остальным критериям не имеет смысла. По оставшимся критериям выбранный тип основания можно оценивать с точки зрения его рациональных конструктивных и архитектурных форм, размерений\*, различной оснащенности оборудованием и т.п., что важно на стадии проектирования основания для работы в конкретных условиях моря.

Таков общий подход к выбору рационального типа бурового основания. В соответствии с ним ниже выполнена оценка известных типов оснований по основополагающим критериям.

### **1. Мобильность морского бурового основания**

Бурение разведочных скважин обоснованных выше параметров требует использования передвижных морских буровых установок (МБУ), транспортируемых по морю вместе с буровым оборудованием на плаву. Это связано с тем, что на бурение даже самой глубокой скважины второй группы затрачивается не более 3 сут. Скважина первой группы наиболее частой глубины 20–30 м по рыхлым породам может

---

\*Размерения — геометрические размеры и некоторые физические характеристики: метацентрическая высота, центр тяжести и пр.

быть пробурена за 3–5 ч непрерывной работы. При этом время чистого бурения в большой степени зависит от скорости перебазирования оборудования на новую точку. Применение передвижных МБУ снижает затраты на сооружение скважин и увеличивает время чистого бурения, так как не требует демонтажа оборудования и основания установки для их доставки на новую точку бурения и последующего монтажа.

Стационарные основания рассчитаны на продолжительный период работы в одной точке, используются для бурения ограниченного числа скважин, требуют больших затрат времени и средств для их сооружения и применяются для бурения глубоких, в основном эксплуатационных скважин на нефть и газ на глубинах моря до 60 м. Использование их для бурения сравнительно неглубоких разведочных скважин экономически неэффективно.

## **2. Безопасность пребывания людей на МБУ**

Тип и конструкция морской буровой установки должны гарантировать безопасность пребывания на ней людей, выполняющих буровые и технологические работы в любое время суток при максимально возможных в данном районе моря ветровых, волновых и технологических нагрузках. В принципе этому требованию могут удовлетворять все передвижные МБУ, за исключением смонтированных на самоходных судах и понтонах.

Основания полупогружные и опирающиеся на дно используются преимущественно для бурения глубоких разведочных и эксплуатационных нефтегазовых скважин. Эти основания рассчитаны на круглосуточную работу людей на них в любую, в том числе штормовую, погоду. Они оснащены вертолетными площадками, что позволяет снимать людей с установки в аварийных ситуациях при помощи вертолетов. Такие основания часто называют полустационарными. Они громоздкие, дорогостоящие, и их применение для бурения разведочных скважин неэкономично.

Легкие основания аналогичных конструкций, понтоны на выдвижных опорах, МБУ типа "Медуза" или "Skate-600" не позволяют монтировать на них вертолетные площадки. Поэтому эти установки, а также самоходные суда можно использовать для бурения разведочных скважин только в закрытых и полузакрытых бухтах при волнении моря до 3 баллов и только в светлое время суток. Иногда для завершения бурения и ликвидации скважины требуется всего 1–2 ч

работы. Но из-за наступления темноты или опасности усиления волнения моря люди вынуждены покинуть установку.

В соответствии с требованиями техники безопасности при волнении моря в 3 балла, плохой видимости из-за тумана или окончания светового дня буровые работы с несамоходной МБУ прекращают, оборудование крепят по-штурмовому и всех людей с установки переводят на самоходное судно. А так как судно и МБУ перемещаются на волне независимо друг от друга, порывисто и непредсказуемо, то при волнении моря свыше 3 баллов их швартовка друг к другу и перемещение людей с МБУ на судно опасны как для целостности плавсредств, так и для жизни людей. Эта опасность усиливается в условиях плохой видимости. Средняя повторяемость возникновения волн силой более 3 баллов, вынуждающих прекращать бурение, составляет по шельфам морей, омывающих берега России, около 0,4. Дополнительно увеличивает время простоев несамоходной МБУ и затраты на бурение скважин плохая видимость (ночь, туманы и пр.).

Таким образом, цикл бурения многих скважин с несамоходных МБУ включает два процесса: непосредственно бурение и выполнение необходимых технологических работ при благоприятных метеорологических и гидродинамических условиях; отстой МБУ в периоды плохой видимости и ожидания снижения волнения до 2–3 баллов. Поэтому несамоходные МБУ не обеспечивают выполнения общеизвестного в бурении правила: *скважину от начала до конца желательно бурить непрерывно*. Длительные перерывы в процессе бурения скважины приводят к осложнениям: происходит адгезия пород, контактирующих с погружаемыми в целик обсадными трубами, и после отстоя значительно труднее производить их погружение; породы интервалов стенок скважины, не закрепленных трубами, набухают, обваливаются, скважина заплывает породами или зашламовывается. Поэтому после отстоя в течение нескольких часов много времени уходит на восстановление как скважины, так и рациональных режимов ее бурения.

Частое, непредсказуемое во времени изменение гидрометеорологических условий моря, необходимость каждый вечер снимать людей с МБУ и каждое утро высаживать их на нее, а также буксировать МБУ с одной точки бурения на другую убеждают, что при несамоходной МБУ в процессе бурения должно находиться самоходное судно. Его содержание дополнительно увеличивает материальные затраты на бурение.

Работа людей на несамоходной МБУ допускается только в светлое время суток. В летние месяцы года светлое время суток составляет 15–16 ч. Поэтому в АО "Дальморгеология" предпринимались попытки организовать бурение с несамоходных ПБУ в летние месяцы в две смены. Эти попытки оказались организационно и экономически неэффективными, так как непредсказуемость гидрометеорологических условий моря во времени приводила к простоям не одной, а двух смен. В результате более экономичной признана работа ПБУ в одну смену продолжительностью ежедневно по 12 ч. При этом члены буровой смены уже через 6–7 ч трудной работы на ПБУ устают, и производительность труда падает.

Несамоходные буровые установки характеризуются очень низким коэффициентом использования, значение которого в большой степени зависит от условий моря. На безледовых акваториях эти установки начинают работать с конца весны и заканчивают в начале осени. Здесь сезон их работы достигает 6–7 мес. в году. Остальное время они простаивают из-за неблагоприятных для работы метеорологических и штормовых условий. Работать в ледовой обстановке несамоходные установки вообще не могут, так как не в состоянии ни противостоять дрейфующим льдам, ни уйти от них. Поэтому применение несамоходных плавучих буровых установок на акваториях, например, Охотского моря ограничено даже в теплые годы 2–3 месяцами в году, а использование их на шельфе арктических морей вообще недопустимо.

Изложенное убеждает в том, что для бурения разведочных скважин создание подобных оригинальных установок (типа "Медуза", "Скат-600", "Флип", "Поп" и др.), немобильных и не гарантирующих безопасность персонала, нецелесообразно. Заложенные в них принципы позволяют повысить остойчивость установок и эффективно используются в конструкциях громоздких и массивных полупогружных МБУ, оснащенных вертолетными площадками и предназначенных для бурения глубоких нефтяных и газовых скважин.

Безопасность людей обеспечивается при работе с МБУ, смонтированными на самоходных судах. На них созданы условия для работы, отдыха, питания и проживания бурового персонала. Поэтому при наступлении темноты или усилении волнения моря людей с самоходных установок не снимают, и они могут круглосуточно вести бурение и контролировать состояние скважины или прекращать работы на время шторма только после завершения бурения и ликвидации скважины. МБУ на самоходных судах являются автономными

и, в отличие от передвижных несамоходных установок, способны работать и переходить с одной точки бурения на другую без вспомогательных плавсредств.

Самоходные суда позволяют располагать на них любые современные станки и механизмы для вращательного бурения, в том числе силовые вертлюги и шлангокабельные установки. В связи с этим с самоходных судов можно бурить скважины любых требуемых параметров в породах различной крепости. Это подтверждает не только зарубежный, но и многолетний отечественный опыт бурения скважин со специально построенных для этих целей самоходных судов (табл. 3).

Комфортные и безопасные условия пребывания людей на самоходных судах позволяют увеличить продолжительность бурового сезона (начинать в более ранние весенние месяцы и заканчивать в более поздние осенние) и работать даже в ледовой обстановке. В осенние и зимние месяцы, когда на морях часто бывают неблагоприятные для бурения метеорологические и штормовые условия, самоходные буровые суда могут использоваться для выполнения геолого-разведочных работ, предъявляющих менее жесткие требования к стабилизации и устойчивости судна: отбора проб донных отложений породотборниками, буксировки сейсмокос, магнитометров и другой аппаратуры.

Следовательно, при правильной организации геолого-разведочных работ на море самоходные суда могут использоваться почти круглогодично, чередуя бурение, пробоотбор, геофизические исследования, транспортировку грузов и т.п. в зависимости от времени года и гидрометеорологических условий моря. Такие суда правильнее называть не буровыми, а геолого-разведочными.

Некоторые зарубежные разведочные организации, например фирма Dome Petroleum, наиболее подходящим основанием для бурения скважин на начальных этапах разведки месторождений нефти и газа тоже признают буровые суда [68]. И это при том, что глубины нефтегазоразведочных скважин в десятки раз больше глубин разведочных на твердые полезные ископаемые.

Из подводных буровых установок наиболее полно отвечают требованиям безопасности обслуживающего персонала дистанционно управляемые ПБА или ПБС. Они работают по командам операторов, находящихся на обслуживающем судне, поэтому безопасность операторов здесь такая же высокая, как и при бурении с самоходных судов.

$$1 \pm \hat{I} \hat{E}^{\pm 3}$$

## Основное буровое оборудование некоторых отечественных самоходных буровых судов

Название судна	Водоизмещение, т	Глубина, м: <u>воды</u> бурения	Вращатель	Насос: <u>подача, л/с</u> давление, МПа	Тип про- мывочной жидкости	Система промывки	Диаметр, м: бурильной <u>колонны</u> УБТ	Вышка: грузоподъ- емная <u>сила, кН</u> высота, м
“Али Ами- ров”	Нет сведе- ний	<u>600</u> 200	Турбобур	<u>30,6</u> 19,2	Глинистый раствор или мор- ская вода	Замкнутая	<u>0,125*</u> 0,164; 0,178	<u>300</u> 22,0
“Бавенит”	5300	<u>600</u> 50 <u>300</u> 200	Ротор Силовой вертлюг	<u>30,6</u> 19,2 <u>26,6</u> 7,5	То же “	Незамкну- тая То же	<u>0,093**</u> 0,164; 0,178 <u>0,127</u> 0,173	<u>300</u> 22,0 <u>400</u> 26,0
“Диорит”	Нет сведе- ний	<u>150</u> 100	ЗИФ-1200	<u>10,0</u> 4,0	Морская вода	“	<u>0,0635</u> —	<u>90</u> 15,0
ИГС 200/200	То же	<u>200</u> 200	Ротор	<u>18,0 и 10,0</u> 16,0 4,0	Глинистый раствор	Замкнутая	<u>0,127</u> 0,146	<u>500</u> 26,0
“Кимберлит”	“	<u>150</u> 100	ЗИФ-1200	<u>10,0</u> 4,0	То же	“	<u>0,0635</u> —	<u>90</u> 15,0
“Киргиз”	470	<u>60</u> 130	ЗИФ-650М	<u>4,2</u> 5,0	Морская вода	Незамкну- тая	<u>0,05 и 0,0635</u> —	<u>100</u> 12,0
“Скорый”	470	<u>60</u> 300	ЗИФ-650М	<u>4,2</u> 5,0	То же	То же	<u>0,05 и 0,0635</u> —	<u>100</u> 12,0
“Наука”	20 500	<u>6000</u> —	“Уралмаш”	—	Нет сведений	—	<u>0,162 и 0,168</u> —	<u>5000</u> —

\* Шлангокабель.  
\*\* Легкосплавные трубы.



ПБА по сравнению с МБУ на самоходных судах имеют ряд преимуществ: независимость процесса бурения от условий на поверхности воды (волнение моря, метеорологическая обстановка и т.п.); принципиальная возможность бурения на любых глубинах моря. К недостаткам ПБА относятся резкий рост массы агрегата с увеличением диаметра и глубины скважины, сложность конструкции большинства из них, ненадежность работы сложной и дорогостоящей контрольной и командной электронной аппаратуры в агрессивной морской воде и, как следствие, высокая стоимость и отсутствие надежно работающих в течение продолжительного времени подводных, дистанционно управляемых станков для бурения разведочных скважин требуемых параметров. Преодоление этих недостатков — задача трудная, но решаемая. Это подтверждает накопленный мировой опыт разработки и эксплуатации подводных буровых станков.

Таким образом, мобильность морских буровых оснований и установок и безопасность пребывания на них людей являются главными критериями при выборе рациональных их типов для бурения разведочных скважин на море. Оценка существующих морских буровых оснований и установок приводит к выводу, что наиболее полно этим двум критериям отвечают два типа буровых установок: смонтированные на самоходных судах и подводные, дистанционно управляемые агрегаты.

Типы МБУ на самоходных судах и дистанционно управляемые ПБА логично оценивать по остальным критериям эффективности. Их оценка имеет смысл при возможности бурения установкой на судне и ПБА скважин одинаковых назначений и параметров в одинаковых районах. В этой связи представляется неправомерным выполненное специалистами ВИТР сравнение по экономической эффективности бурения скважин ПБА и с судна "Бавенит" в пользу применения ПБА. Возможности ПБА еще долго будут ограничиваться глубинами бурения по породам до 30 м, судно же "Бавенит" предназначено для бурения скважин номинальной глубиной 200 м по породам.

МБУ, смонтированные на самоходных судах, позволяют бурить разведочные скважины любых требуемых параметров на акваториях с различными условиями. Экономический анализ бурения с самоходных судов показывает [15], что их применение обеспечивает:

значительную экономию средств в структурно-поисковом и глубоком разведочном бурении на глубинах моря 40—60 м;

на больших глубинах другого экономичного способа бурения таких скважин практически вообще не существует;

окупаемость затрат на сооружение бурового судна в структурном бурении ориентировочно в течение 3 лет, в глубоком разведочном бурении — 5 лет.

Бурение дистанционно управляемыми ПБА до настоящего времени ограничено преимущественно диаметрами скважин до 0,092 м, глубиной до 30 м по породам. Бурить скважины таких и близких к ним параметров, особенно на глубинах акваторий более 100 м, в перспективе (с появлением надежных конструкций ПБА) может оказаться эффективнее с использованием ПБА, чем МБУ на самоходном судне.

Предпочтение здесь имеют ПБА с кассетированием керна-приемников на платформе агрегата. Это обусловлено сокращением затрат времени на выполнение вспомогательных работ за счет исключения процессов транспортирования керна-приемников в каждом рейсе на судно и обратно. Эффективность бурения таких ПБА по сравнению с МБУ на самоходных судах по этим затратам существенно возрастает с увеличением глубины разведываемых акваторий.

Наибольшую перспективу имеет применение дистанционно управляемых ПБА при проведении глубоководных исследований, в частности разведке полиметаллических сульфидных руд. Обусловлено это также качеством получаемой геологической информации.

Рудопроявления массивных полиметаллических сульфидов приурочены к поверхностным горизонтам океанического дна. Однако известные технологии забуривания скважин с судов на акваториях с глубинами в несколько тысяч метров, как правило, не предусматривают возможности отбора керна из поверхностных горизонтов дна. Попытки бурения сульфидов с борта судна "Джоидес Резолюшн" в 1985 г. показали трудность отбора полноценных образцов керна вследствие их разрушения, вероятно, из-за вибрации длинного бурового снаряда. При бурении серии скважин глубиной 1,5–13,0 м на станции № 649 на глубине 3520 м в районе активного "курильщика" выход керна по пяти скважинам составил, %: 0; 4; 0; 2; 1.

Для повышения конкурентоспособности ПБА с МБУ на самоходных судах необходимо увеличить возможные глубины эффективного бурения по породам ПБА с кассетированием керна-приемников. Важным препятствием на пути увеличения глубин бурения скважин по породам кассетными ПБА является возрастание их габаритов и массы. В связи с этим

представляется целесообразным осуществлять отбор кернa не по всей скважине, а с отдельных ее интервалов, обоснованных геологами. Так как требования к отбору кернa при бурении скважин различных назначений не одинаковы, имеет смысл создавать ПБА различных конструктивных исполнений, а не универсальные. Например, для инженерно-геологических исследований морского дна необходимы ПБА с возможностью пенетрационного каротажа и отбора кернa (монолитов) длиной по 0,2—0,3 м только с отдельных интервалов скважины вращательным способом. Следовательно, для бурения на море инженерно-геологических скважин глубиной до 30 м по породам приемлемы ПБА с 10 кассетами длиной 0,5 м каждая.

В зависимости от конкретных условий участка моря, на котором необходимо бурить скважины, более рациональными могут оказаться другие технические решения. Например, при бурении единичных скважин в волноприбойной зоне или зоне осушки приливно-отливных акваторий более простым и надежным может оказаться использование станков, смонтированных на буровой вышке с балластными камерами или без них; в зимние месяцы года бурение на шельфе арктических морей целесообразно осуществлять с ледяного припая и ледовых полей. Преимущество этих решений заключается в существенном уменьшении капитальных затрат на строительство бурового основания, а также в том, что они позволяют с успехом применять для бурения наземные буровые станки и технологии.

Однако объемы бурения в таких условиях незначительны. Поэтому и в этих случаях экономически выгодно задействовать буровое судно, используя его в качестве вспомогательного для жилья, питания и отдыха бурового персонала, обеспечения бурового станка электроэнергией, горюче-смазочными материалами, технологическим оборудованием и инструментами, выполнения грузомонтажных и спасательных работ и т.д. Подавляющее большинство разведочных скважин необходимо бурить на сравнительно открытых акваториях шельфа, и здесь следует ориентироваться на буровые установки, смонтированные на самоходных судах, и на дистанционно управляемые подводные буровые агрегаты.

В следующих разделах книги основное внимание уделяется вопросам разработки рациональных типов и конструкций установок для бурения только с самоходных судов.