

Канд. техн. наук. РУСАНОВ В.А.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

## **ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ВИБРАЦИОННОГО И ВИБРОУДАРНОГО БУРЕНИЯ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН**

Одной из наиболее важных составляющих морских геологоразведочных и инженерно-геологических исследований морского дна шельфовой зоны Мирового океана является бурение подводных скважин различного назначения и отбор проб донных отложений. В общем комплексе морских буровых работ важное место занимает однорейсовое бурение мелких скважин на твердые полезные ископаемые и с целью отбора монолитов для инженерно-геологических исследований. Для бурения неглубоких скважин в верхнем слое морского дна, как в отечественной практике, так и за рубежом, находят применение различного типа легкие технические средства (ЛТС), позволяющие отбирать пробы общей длиной от 4 до 6 метров в зависимости от характера отложений. В настоящее время насчитывается более 20 типов ЛТС, которые классифицируются по степени управляемости, по способу передачи энергии и ее виду, по процессам, происходящим в колонковой трубе [6, 11].

Учитывая широкую вариацию физико-механических свойств, гранулометрического состава и других специфических особенностей отложений морского дна, исследователями выделены наиболее существенные технологические требования, в соответствии с которыми ЛТС должны обеспечивать:

- комбинированный способ бурения, что значительно расширяет область применения ЛТС как по глубине, так и по физико-механическим свойствам пород по разрезу скважины;
- регулируемую обратную призабойную циркуляцию жидкости для снижения “свайного эффекта”, увеличения механической скорости и рейсовой углубки.

Эти требования, при учете простоты конструкции и эксплуатации, открывают широкие перспективы их реализации с помощью буровых снарядов, погружающихся в грунт ударными импульсами [8, 10].

В ДонНТУ разработан гидроударный буровой снаряд со встроенным насосным блоком одинарного действия, на базе которого созданы погружные установки однорейсового бурения ПГУ-72, ПУВБ-150, УГВП-130(150). Эксплуатационные и технические характеристики последних обеспечивают не только увеличенную длину опробования (8 м), но и возможность эксплуатации с буровых судов, имеющих незначительные свободные палубные пространства и малогабаритные грузоподъемные средства [3].

Основным исполнительным органом установки является погружной

пробоотборник, состоящий из двойного колонкового снаряда и гидроударного механизма (ГМ) с дифференциальным поршнем и двухклапанным распределением рабочей жидкости, генерирующего ударные импульсы.

Погружение колонкового набора в грунт происходит под действием четырех факторов: ударных импульсов, вибрации колонкового снаряда, размыва стенок скважины и безинерционной нагрузки. Заглубление облегчается возникновением дополнительной нагрузки за счет понижения давления внутри кернаприемника при работе насосного блока гидроударника.

Таким образом, принципиальным отличием разработанного пробоотборника от существующих является использование комбинированного ударно-вибрационного способа бурения с интенсивным размывом стенок скважины, способствующим резкому снижению бокового трения. Благодаря этому стало возможным значительное увеличение рейсовой углубки и механической скорости бурения [3].

В результате проведенных в ДонНТУ аналитических исследований погружных буровых снарядов (ПБС) УГВП-130(150) получены зависимости для определения величины перемещения, скорости и энергии удара бойка. Найдены значения оптимальной массы бойка, обеспечивающие получение максимальной энергии удара при различных параметрах потока жидкости и перемещениях поршня гидроударного механизма [4, 5]. Экспериментальные и промышленные исследования ПБС при ведении работ на морских шельфах Черного моря, морей Дальнего Востока и Крайнего Севера подтвердили высокую эффективность ПБС с комбинированным способом погружения пробоотборника в рыхлые отложения.

Однако вопросы технологии бурения подводных скважин, в особенности в несвязных отложениях песчано-глинистого комплекса, освещены в научно-технической литературе не достаточно полно. Проведенные исследования базируются на значительном числе грубых допущений и, несмотря на то, что дают весьма удовлетворительные практические результаты, не имеют убедительной научной базы [5, 7].

Согласно работе [7] технологическими параметрами режимов бурения подводными колонковыми установками следует считать:

- энергию единичного удара бойка ГМ по нижней наковальне;
- частоту ударов (двойных ходов) бойка ГМ;
- расход обратной промывки (количество жидкости, всасываемой встроенным насосным блоком ПБС из полости кернаприемной трубы в единицу времени).

Все они в той или иной мере оказывают влияние на эффективность разрушения породы на забое подводной скважины, рейсовую углубку ПБС и сохранность кривой пробы.

Наиболее убедительные исследования посвящены процессу взаимодействия башмака пробоотборника с разрушаемой средой. Согласно работе [10] для успешного внедрения пробоотборника необходимо, чтобы усилие  $W$ , пе-

ремещающее башмак вниз, удовлетворяло неравенству

$$W \leq F_{zp} + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5, \quad (1)$$

где  $F_{zp}$  – реакция уплотняющегося грунта;  $F_1$  – сила трения на поверхности скоса башмака;  $F_2$  – сила трения на наружной цилиндрической поверхности башмака;  $F_3$  – сила трения на внутренней цилиндрической поверхности башмака;  $F_4$  – Сила трения на наружной поверхности керноприемной трубы;  $F_5$  – сила трения на внутренней поверхности керноприемной трубы.

Расчеты установок УГВП-130(150) и ПУВБ-150 показывают, подбором оптимального сочетания рабочих и конструктивных параметров ГМ можно достичь значения  $W$ , обеспечивающего погружение колонкового снаряда в породы I – IV категорий по буримости с пропластками более твердых пород [5, 7].

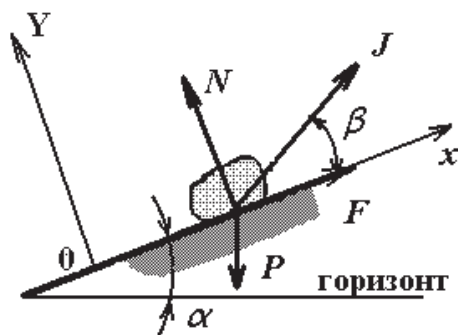
Частотой ударов бойка ГМ определяется частота вынужденных колебаний керноприемной трубы, что обеспечивает как облегченное заглубление последней в несвязные грунты, так и снижение трения между колонкой керновой пробы и внутренней поверхностью керноприемной трубы.

Расход обратной промывки через встроенный насос одинарного действия определяет, как показано в работе [2] сохранность керновой пробы, длину рейсовой углубки и механической скорости бурения.

В данной работе принято, что прилегающий к буровому снаряду слой грунта под воздействием воспринимаемых от ГМ колебаний становится подобным вязкой жидкости. Этот слой условно разделяется на виброкипящий и виброожигенный. Толщина их может изменяться в зависимости от свойств

горной породы. Согласно [9] толщина первого не превышает  $2d_0$ , а второго  $(3...8)d_0$ .

Недостаток такого допущения заключается в том, что в работе [9] рассматривалась передача вибрации дисперсной среде от горизонтальной и слабонаклонной поверхностей. В случае же внедрения керноприемного снаряда в грунт (или поступление керновой пробы в трубу) наблюдается соприкосновение несвязных частиц с вертикальной вибрирующей поверхностью. Проиллюстрировать недопустимость механического переноса одной модели взаимодействия вибрирующей поверхности и грунта на



**Рис. 1** – Расчетная схема движения частицы на гармонически колеблющейся плоскости

другую можно с помощью анализа системы уравнений [1], описывающих движение частицы произвольной формы на плоскости, наклоненной к горизонту под углом  $\alpha$ , совершающей гармонические колебания в направлении, образующем угол  $\beta$  с горизонтальной плоскостью (см. рис. 1.).

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= mA\omega^2 \cos\beta \sin\omega t - mg\sin\alpha + F, \\ m\ddot{y} &= mA\omega^2 \sin\beta \cos\omega t - mg\cos\alpha + N. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для случая  $\alpha=0^\circ \quad \beta=90^\circ$  (горизонтальная поверхность):

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= mA\omega^2 \sin\omega t + F, \\ m\ddot{y} &= mA\omega^2 \cos\omega t - mg + N. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для случая  $\alpha=90^\circ \quad \beta=0^\circ$  (вертикальная поверхность):

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= mA\omega^2 \sin\omega t - mg + F, \\ m\ddot{y} &= N. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

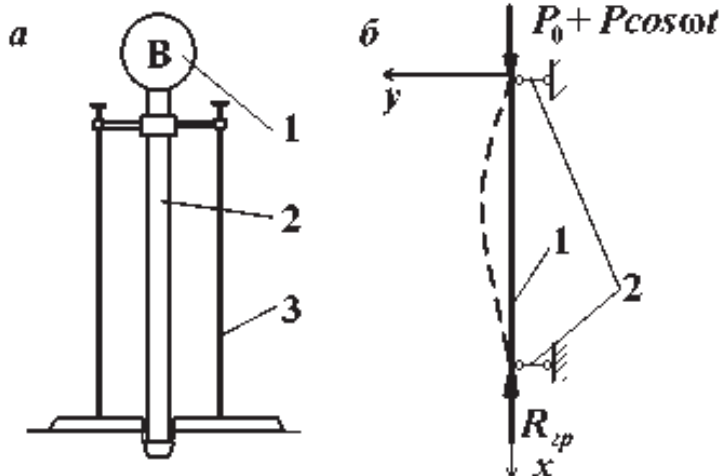
В обоих рассмотренных случаях направление оси X совпадает с образующей колеблющейся поверхности, а ось Y перпендикулярна ей.

Согласно [1], условие, при котором частица действительно остается на вибрирующей плоскости можно записать как:

$$\sin\omega t < \frac{g \cos\alpha}{A\omega^2 \sin\beta} \quad (5)$$

В случае системы уравнений (4) в правой части неравенства возникает неопределенность вида  $\frac{0}{0}$ . Таким образом движение частицы, контактирующей с вертикальной вибрирующей поверхностью, нельзя описывать системами уравнений (2) и (4).

Решить задачу поведения слоя грунта, прилегающего к стенке вертикальной вибрирующей трубы можно, установив закон взаимодействия единичной частицы и вертикального стержня с шарнирно закрепленными концами, который испытывает изгибные колебания от действия вертикальной, периодически изменяющейся силы (см. рис. 2).



**Рис.2 – Подводный пробоотборник**  
**а – общая схема; б – расчетная схема.**  
**1 – вибрационный погружатель; 2 – колонковый снаряд; 3 – опора.**

цами, который испытывает изгибные колебания от действия вертикальной, периодически изменяющейся силы (см. рис. 2).

Задача о наличии и интенсивности обратной промывки, создаваемой насосным блоком одинарного действия, также требует более строгого уточнения, чем в известных трудах [2, 7]. В этих работах принято допущение о наличии постоянного потока жидкости

в зазоре между внутренней поверхностью керноприемной трубы и керном, как в кольцевом зазоре, который прекращается с момента наступления. В то время как, сам принцип действия насосного блока предполагает периодичность течения (разделения на фазы всасывания – разгона жидкости и вытеснения – ее торможения).

Даже при наличии специальных изменений в конструкции керноприемной части установки УГВП-130(150), способствующих формированию и поддержанию кольцевого зазора, последний представляет собой пространство, насыщенное частицами грунта, которые отрываются от поверхности керна за счет ослабления сил сцепления при вибрации и(или) размыва поверхности керна потоком воды. Эти частицы подхватываются потоком жидкости в период всасывания и оседают в период вытеснения. При различных режимах движения жидкости может наблюдаться колебательное движение частиц в кольцевом зазоре, когда суммарный вектор скорости единичной частицы:

1. равен нулю;
2. направлен вверх;
3. направлен вниз.

Наиболее предпочтителен первый вариант движения, так как во втором происходит массоперенос кернового материала в часть керноприемной трубы над пробой, где частицы будут интенсивно осаждаться за счет резкого увеличения живого сечения потока, а в третьем случае – частицы, оседая в кольцевом зазоре, приведут к заиливанию последнего и быстрому наступлению "свайного эффекта".

Исследования обратной промывки с этой точки зрения до настоящего времени не проводились.

Таким образом дальнейшие исследования технологических параметров бурения подводных скважин в несвязных грунтах снарядом с гидроударным приводом нужно вести в следующих направлениях

1. Построение математической модели колебательного процесса керноприемной трубы в двумерном пространстве (для упрощения – вертикального стержня).
2. Исследование взаимодействия единичной частицы грунта с колеблющимся стержнем .
3. Исследование динамики потока жидкости в кольцевом зазоре в фазе вытеснения насосного блока
4. Построение закона движения частицы грунта в неустановившемся потоке жидкости.

Решение этих задач позволит:

1. Более точно установить влияние частоты ударов погружателя на толщину виброизмененного слоя.
2. Уточнить методику определения необходимого расхода промывочной жидкости в кольцевом зазоре.
3. Подобрать такое сочетание технологических параметров режима гидро-



ударного бурения, которое позволит обеспечить максимальную рейсовую углубку, механическую скорость бурения и получение сохранной керновой пробы.

### **Библиографический список**

1. **Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю.** Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 412 с.
2. **Калиниченко О.И.** Допустимые области эффективной работы насосного блока погружных гидровибрационных установок типа УГВП и ПУВБ // В сб. “Инженерно-геологические условия шельфа и методы их изучения”. – Рига: Зинатне, 1991. – С. 27 – 30.
3. **Калиниченко О.И.** Особенности конструкций и элементы проектирования характеристик гидроударных буровых снарядов для однорейсового бурения подводных скважин // В сб. научных трудов ДонГТУ. Серия горно-геологическая. Выпуск 11. – Донецк: ДонГТУ, 2000.– С.16 – 23.
4. **Калиниченко О.И., Каракозов А.А.** Забойные буровые машины и механизмы. – Донецк: ДонГТУ, 1997. – 125 с.
5. **Калиниченко О.И., Каракозов А.А.** Исходные данные для проектирования оптимального сочетания конструктивных и рабочих параметров ударно-вибрационных буровых механизмов // В сб. “Бурение скважин в осложненных условиях”. – Донецк: ДонГТУ, 1996.– С.32–37.
6. **Лукошков А.В.** Техника исследования морского дна. – Л.: Судостроение, 1984. –264с.
7. **Русанов В.А.** Обоснование рациональных технологических режимов ударно-вибрационного бурения подводных скважин.– Дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1999. – 150 с.
8. **Смолдырев А.Е.** Методика и техника морских геологоразведочных работ. – М.: Недра, 1978. – 303 с.
9. **Членов В.А., Михайлов Н.В.** Виброкипящий слой. – М.: Недра, 1972, – 254 с.
10. **Шелковников И.Г.** Использование энергии удара в процессах бурения. – Л.: Недра, 1977. – 159 с.
11. **Шелковников И.Г., Лукошков А.В.** Технические средства подводного разведочного бурения и опробования. – Л.: Изд - во ЛГУ, 1979. – 224 с.