

О. И. Калиниченко, докт. техн. наук¹, **А. А. Каракозов**, канд. техн. наук¹,
П. В. Зыбинский, канд. техн. наук²

¹*Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина*

²*ЗАО «Компания «Юговостокгаз», г. Донецк, Украина*

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДОННЫХ ГРУНТОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА ШЕЛЬФЕ

The results of development of new equipment and technologies for offshore cone penetration testing (CPT) for different kinds of vessels are presented.

Освоение нефтегазовых месторождений на шельфе предполагает проведение широкомасштабных инженерно-геологических изысканий, прежде всего, на площадках постановки морских буровых платформ. В мировой практике в программу таких изысканий на каждой площадке обязательно включаются работы, связанные с выполнением статического зондирования донных грунтов (cone penetration test – CPT). В настоящее время эти же требования к программам изысканий стали предъявлять и отечественные заказчики работ. В то же время украинские геологоразведочные организации не располагают технической базой для проведения таких работ.

В 2007 году для выполнения статического зондирования донных грунтов с СПБУ «Сиваш» на Субботинской площадке Прикерченского шельфа Чёрного моря специалистами кафедры «Технология и техника геологоразведочных работ» Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) совместно с ЗАО «Компания «Юговостокгаз» был разработан комплекс оборудования и технология выполнения CPT [1]. В нём используется система CPT шведской компании «Geotech», важной особенностью, которой является возможность беспроводной передачи данных измерений от зонда к поверхности по акустическому каналу связи, в качестве которого используются стальные цельнотянутые штанги (рис. 1). Акустический сигнал принимается микрофоном и по кабелю передается на интерфейс персонального компьютера (ПК), на который также поступает информация о глубине (от синхронизатора глубины). Затем данные отправляются на ПК, и

отображаются на экране в реальном времени в виде кривых и непосредственных числовых данных.

Для считывания данных с зонда использовалось программное обеспечение СРТ-Log компании «Geotech», которое включает необходимые для работы модули, доступные из одной оболочки: *пенетрация* – для непосредственной регистрации данных зондирования; *презентация* – для создания графических презентаций данных и печати записанных данных зондирования; *резервная память* – для извлечения данных о зондировании, которые сохраняются в резервной памяти зонда, что гарантирует регистрацию данных даже в случаях нарушения акустической связи зонда с поверхностью, например, при больших глубинах пенетрации; *база данных зондов* – для хранения характеристик используемых зондов.

Программой также предусматривается автоматический расчет суммарного числа метров зондирования (с момента последней калибровки для каждого зонда) с выводом количества метров, оставшихся до следующей калибровки.



Рис. 1. Беспроводная система СРТ компании «Geotech»: 1 – зонд СРТ; 2 – микрофон; 3 – синхронизатор глубины; 4 – интерфейс ПК; 5 – ПК; 6 – принтер; 7 – результаты.

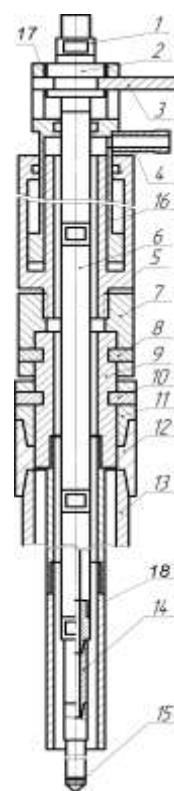


Рис. 2. Схема оборудования для производства СРТ с СПБУ

Комплекс оборудования для технической реализации СРТ с СПБУ «Сиваш» (рис. 2), включает силовой гидроцилиндр 5 с полым штоком 16, опорные вилки 8

и 10, и специальные переходники 7, 9 и 11 для монтажа гидроцилиндра к муфте-переходнику 12 несущей колоны обсадных труб 13. В верхней части штока гидроцилиндра установлен переходник-сальник 17, в теле которого прорезаны установочные окна для нажимной вилки 3, фиксирующей наголовник 2 с ниппелем-переходником 1. С целью обеспечения постоянной промывки на боковой поверхности переходника-сальника 17 приварен штуцер 4 для соединения со шлангом нагнетательной линии обвязки бурового насоса.

Передача задавливающего усилия от штока гидроцилиндра на зонд 15 выполняется через комбинированную бурильную колонну, состоящую из штатных штанг 14 диаметром 36 мм фирмы «Geotech» общей длиной 30 м и набора бурильных труб 6 диаметром 50 мм ниппельного соединения (СБТН-50). Колонна бурильных труб 6 устанавливается концентрично внутри штока 16, при этом на её верхний конец навинчен наголовник 2, между опорными поверхностями которого помещается нажимная вилка 3, исключая его относительное перемещение вдоль окон переходника-сальника 17. Для уменьшения величины прогиба от действия сжимающей нагрузки на зонд бурильные трубы размещены в защитной обсадной колонне 18, выполненной из бурильных труб диаметром 73 мм, соединенных резьбой «труба в трубу». На верхнюю часть колонны 18 навинчивается переходник 9 с двумя прорезями для одновременной фиксации гидроцилиндра вилками 8 и 10 на защитной колонне 18 и на переходнике 12, установленном на верхнем конце несущей колонны 13. В качестве несущей колонны 13 использованы свечи бурильных труб диаметром 127 мм с бурильной головкой 212,7/80, входящей в комплект колонкового снаряда «Недра», что позволяло разбуривать верхнюю часть скважины по мере увеличения глубины проведения СРТ.

Впервые в отечественной практике морских инженерно-геологических изысканий использование разработанного оборудования позволило провести с СПбУ статическое зондирование донных грунтов на глубину 62 м, предусмотренную техническим заданием на выполнение работ. Данные, полученные в результате зондирования, автоматически интерпретировались программой *CPT-Pro* фирмы «Geotech» с воспроизведением разреза на основе методики Робертсона [2] (рис. 3).

Полученные данные, подтвердившие работоспособность и эффективность

созданного технического комплекса, явились главной предпосылкой продолжения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на расширение области использования оборудования и разработки новой технологической схемы, обеспечивающей возможность проведения СРТ с борта неспециализированных судов.

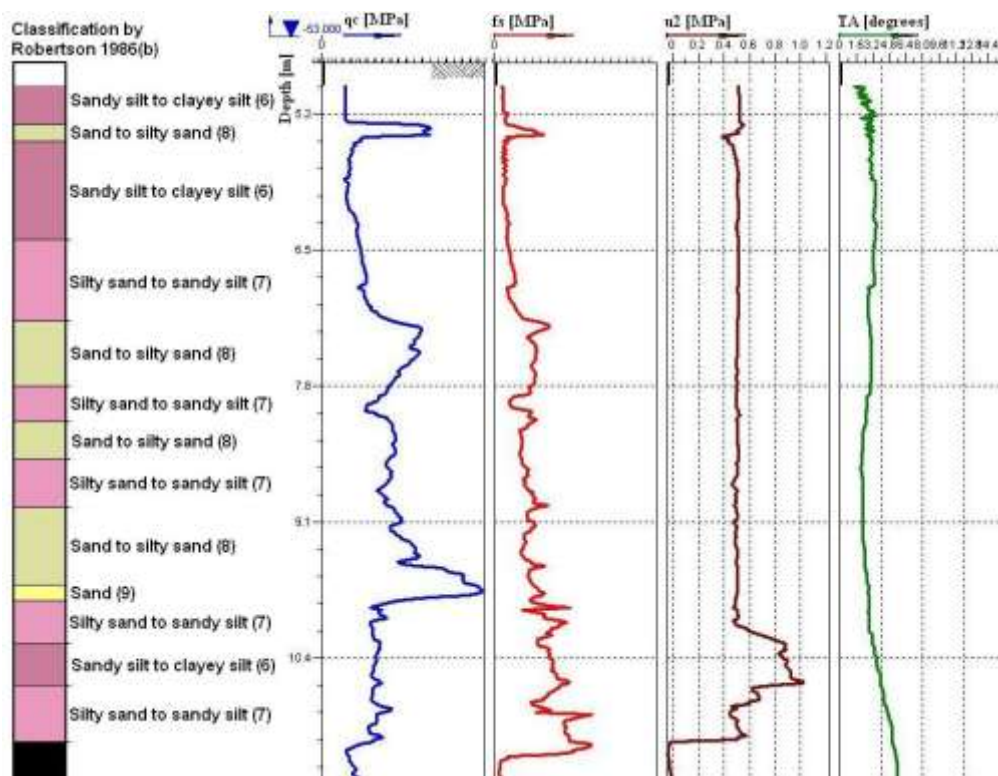


Рис. 3. Фрагмент интерпретации данных статического зондирования.

Такая постановка задачи обусловила актуальность вопросов, связанных с выбором технической базы и технологической схемы производства СРТ в условиях целого ряда ограничений, характерных для неспециализированных судов: ограниченность параметров грузоподъемных систем и размеров рабочих площадок, отсутствие возможностей проведения спуско-подъемных операций (СПО) с обсадными трубами, необходимостью забортного размещения оборудования и т.д.

При выборе состава и рациональной компоновки элементов установки СРТ рассматривалось несколько известных разработок, обеспечивающих выполнение комплекса инженерно-геологических работ с борта буровых и неспециализированных судов. При этом учитывались технические возможности судов обслуживания ГАО «Черноморнефтегаз», а также пути снижения трудоёмкости и безопасность выполнения работ. Наибольшие трудности заключались в выборе технологии спуска глубинного оборудования на дно, служащего для создания нагрузки на

зонд и стабилизации задавливающей колонны в вертикальном положении. При этом вес глубинного оборудования должен соответствовать максимальному значению реакции (50-60 кН) от усилия вдавливания зонда в грунт. Это условие предполагает наличие отдельной подъёмной системы с параметрами грузовой лебёдки, достаточными для безопасного подъёма со дна тяжёлой конструкции.

В настоящее время в практике бурения инженерно-геологических скважин глубиной до 50 м с борта неспециализированных судов широкую известность получила установка УМБ-130М [3]. В состав грузоподъёмного оборудования установки включены две автономно работающие лебёдки (грузовая и буровая). Канат грузовой лебёдки, пропущенный через шкивы донного основания и ролики опорной рамы, закреплённой на борту судна, одновременно выполняет функции талевой и направляющей системы, использующейся при спуске и подъёме донного основания. На основании анализа комплектности и параметров конструктивных элементов УМБ-130М, использующихся при её эксплуатации, представляется возможным адаптировать установку к производству СРТ без принципиальных изменений её технической части, технологии выполнения операций и приёмов при спуске и подъёме забортного оборудования.

В настоящее время на базе УМБ-130М разработана и подготовлена к апробации в промысловых условиях универсальная погружная установка УПСЗ-50, которая может быть использована как для статического зондирования грунтов, так и для проведения пробоотбора и бурения скважин глубиной до 50 м.

Состав и проектная схема размещения элементов установки УПСЗ-50 на морском буксире «Центавр» приведены на рис. 4.

На палубе судна размещается приводное оборудование: буровой насос 22; грузовая лебёдка 20 грузоподъёмностью пять тонн для спуска опорной рамы основания 13; буровая лебёдка 19 грузоподъёмностью полторы тонны для работы с обсадными трубами, колонной штанг и цилиндром 4; маслостанция 18 для обеспечения работы силового гидроцилиндра 4. В состав забортного оборудования входят: основание 13 с направляющими роликами и утяжелителем 12; обсадные трубы 14 диаметром 146 мм с безрезьбовым соединением в колонну (ОТ-146); колонна обсадных труб 15 диаметром 73 мм (ОТ-73, защитная колонна); колонна

штанг 16, верхняя часть которой состоит из туб диаметром 50 мм, а нижняя часть – из штанг фирмы «Geotech» диаметром 36 мм, установленных непосредственно над зондом; цилиндр 4; направляющий трос 10 с компенсирующим грузом 9 и направляющими хомутами 5, 8 и 11.

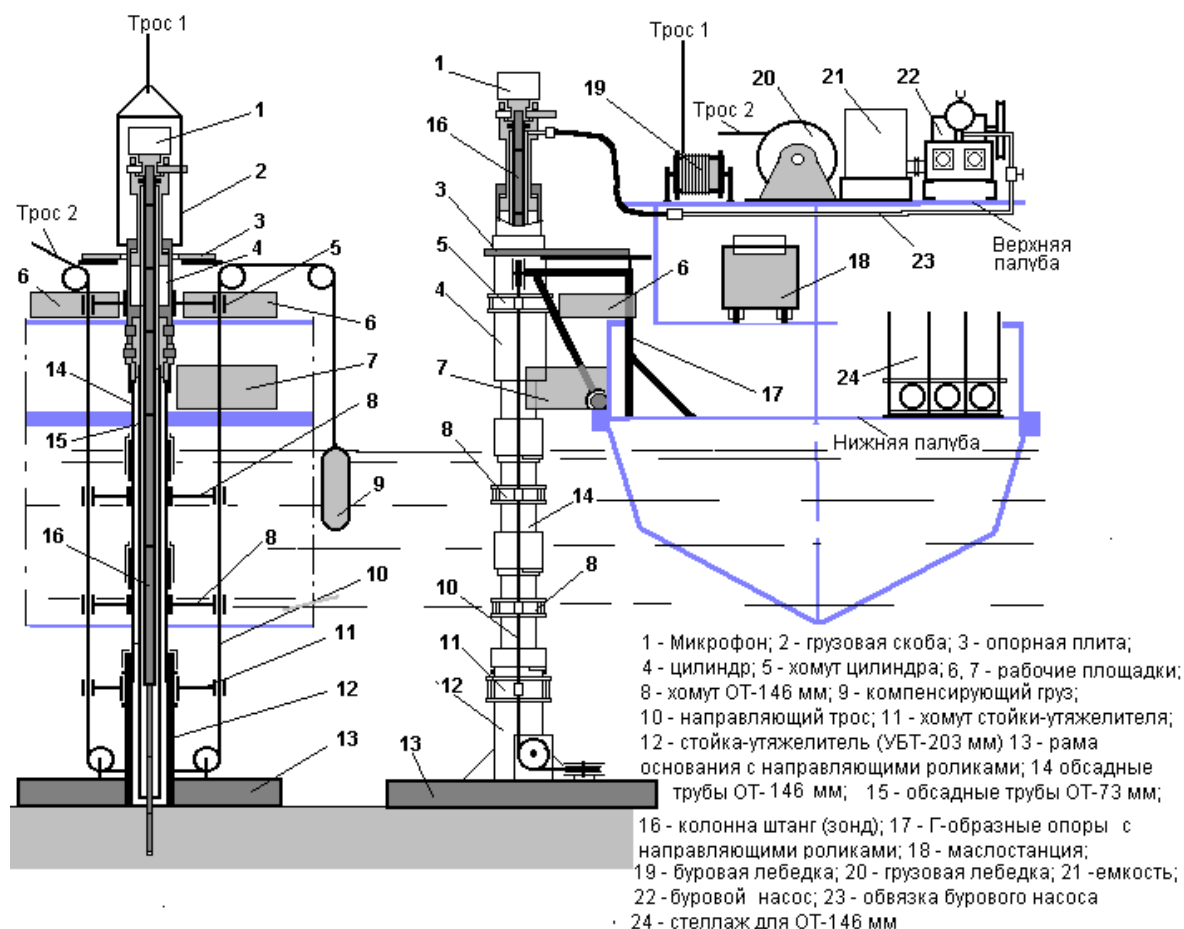


Рис. 4. Элементы и схема размещения элементов установки УПСЗ-50.

Основание 13 является основанием установки УМБ-130М с усиленными роликами, оснащённым съёмными утяжелителями, устанавливаемыми при выполнении СРТ. Безрезьбовое соединение труб ОТ-146 позволяет достаточно оперативно выполнять СПО без использования специальных средств. Забортное оборудование удерживается в рабочем положении с помощью усиленных Г-образных стоек 17 установки УМБ-130, на которых закреплена опорная плита 3 и рабочие площадки 6 и 7. Техническая характеристика УПСЗ-50 приведена в табл. 1.

Работа установки УПСЗ-50 заключается в следующем. Сначала производится **спуск основания и колонны ОТ-146** (рис.5, позиции совпадают с рис. 4). С помощью лебедки 19 (рис. 4) производится спуск основания 13 с утяжелителем 12 и хомутом 11 за борт судна.

Таблица 1. Техническая характеристика погружной установки статического зондирования УПСЗ-50

Наименование характеристик и параметров	Количественные и качественные показатели
Максимальная глубина акватории, м	до 50
Категории пород по буримости	I-IV
Максимальная глубина пенетрации, м	50
Максимальная глубина пенетрации за рейс, м	12
Диаметр пенетрометра, м	0,036
Измеряемые параметры:	
– лобовое сопротивление, МПа	50
– боковое трение, МПа	1
– поровое давление, МПа	5
Диаметр обсадной колонны, м	0,146
Диаметр защитной колонны, м	0,073
Расход рабочей жидкости (морская вода) при углубке защитной колонны, л/мин	не менее 450-500
Перепад давления, МПа	2,0-2,5
Количество обслуживающего персонала, чел	4
Габариты установки в рабочем положении на дне моря:	
– высота, м	6,5
– диаметр, м	2,5
Масса опорного основания с утяжелителем и обсадной колонной, кг	5000
Спуск и подъем установки	грузовой стрелой и лебедкой
Грузоподъемность грузовой лебедки, кг	не менее 5000
Грузоподъемность буровой лебедки, кг	не менее 1500

Основание подвешивается на направляющем тросе 2, пропущенном через ролики рамы и Г-образных стоек. Дальнейшие работы по удержанию на весу и спуску основания выполняются с помощью грузовой лебедки 20 (рис. 4). При этом натяжение направляющего троса поддерживается компенсирующим грузом 9. Буровой лебедкой 19 (рис. 4) выполняется спуск первой секции обсадной колонны ОТ-146 и её соединение с утяжелителем 12. Затем эта секция устанавливается на опорную плиту 3 и соединяется со следующей секцией. При спуске колонна ОТ-146 центрируется по длине хомутами 8, размещёнными на ветвях направляющего троса. После сборки ОТ-146 на верхнем конце её последней секции устанавливается удерживающий переходник.

Затем производится *спуск защитной колонны ОТ-73* (рис. 6). Защитные обсадные трубы ОТ-73 спускаются внутрь колонны ОТ-146 на специальном элеваторе-пробке 1 буровой лебедкой 19 (рис. 4). Секции ОТ-73 имеют резьбовое со-

единение с шагом 6 мм. После сборки последней секции ОТ-73 на её верхнем конце устанавливается прорезной переходник 2. В процессе спуска трубы ОТ-73 удерживаются в подвешенном состоянии вилкой 3.

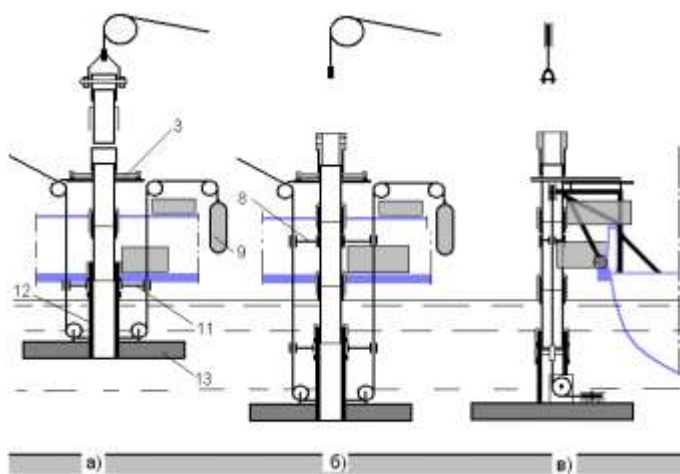


Рис. 5. Спуск основания и колонны ОТ-146

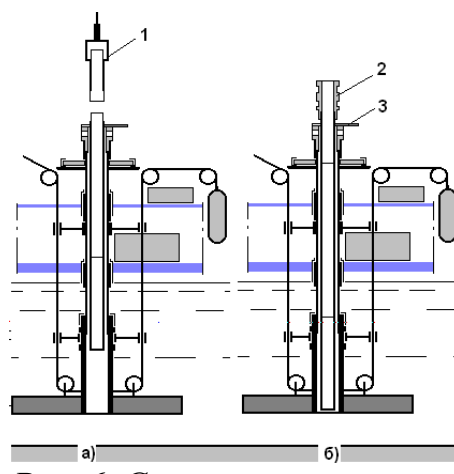


Рис. 6. Спуск защитной колонны ОТ-73

Следующей операцией является *спуск штанг с зондом пенетрометра в защитную колонну ОТ-73 и монтаж цилиндра* (рис. 7). Спуск пенетрометра производится буровой лебёдкой 19 (рис. 4) на специальном вертлюге-пробке 1. При спуске штанги удерживаются в подвешенном состоянии вилкой 3, опирающейся на прорезной переходник 2. После сборки последней секции штанг производится соединение этой секции с цилиндром. Предварительно на палубе в полый шток цилиндра помещается штанга 4 с колонной головкой 5 и вилкой 6. Подъем и маневровые работы с цилиндром выполняются буровой лебёдкой 19 (рис. 4) с использованием грузовой скобы. Первым этапом является соединение помещённой в шток гидроцилиндра и выходящей за его габариты штанги с колонной штанг, спущенных в ОТ-73. Затем освобождается вилка 3 и производится спуск цилиндра до посадочного места на прорезном переходнике 2.

После закрепления цилиндра на прорезном и удерживающем переходниках вилками 1 и 2 (рис. 8), грузовой лебёдкой 20 (рис. 4) производится *спуск собранного комплекса забортного оборудования на дно*. Затем цилиндр оснащается направляющим хомутом и *выполняется первый рейс пенетрации*. При помощи пробки-вертлюга 3 наращивается колонна штанг (рис. 8). По окончании наращивания пробка-вертлюг заменяется опорной втулкой 4 с вилкой 5. В верхней части

штанг устанавливается микрофон (приёмник акустического сигнала, поступающего от зонда пенетрометра). Затем гидроцилиндром (за счёт взаимодействия колонной головки со штангами пенетрометра) проводится пенетрация на длину одной секции штанг СБТН-50, равную ходу его поршня.

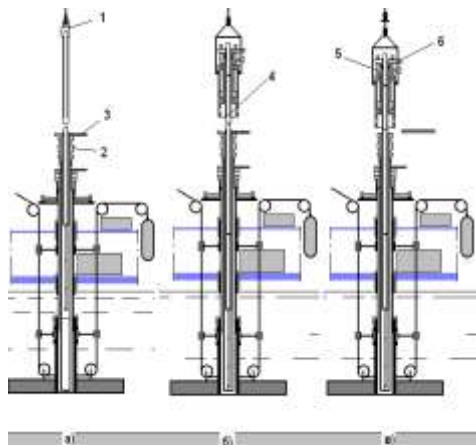


Рис. 7. Спуск штанг с зондом пенетрометра и монтаж цилиндра.

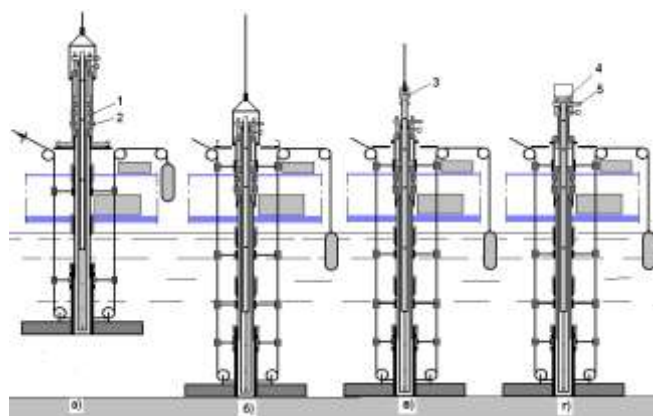


Рис. 8. Спуск забортного оборудования на дно.

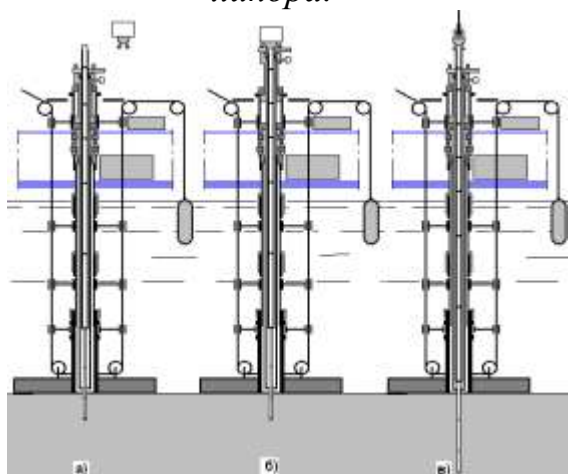


Рис. 9. Первый рейс пенетрации.

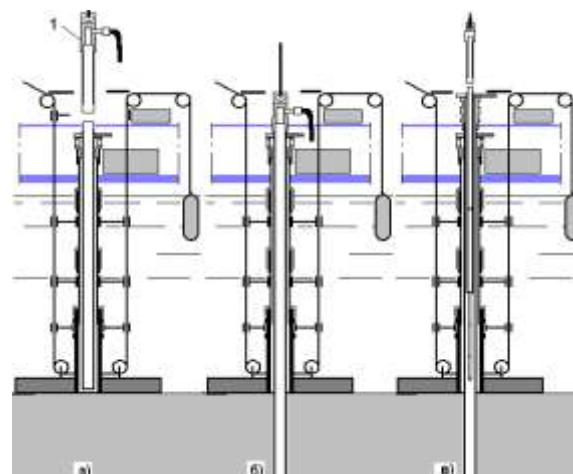


Рис. 10. Спуск защитной колонны ОТ-73 на глубину пройденного интервала пенетрации

Потом с верхней штанги снимается приёмник, добавляется новая секция штанг, к которой опять присоединяется приёмник (рис. 9). Пенетрация повторяется. После углубки зонда в грунт на 3-6 м производят размыв скважины и опускают колонну ОТ-73 на глубину интервала пенетрации (рис. 10). Для этого с неё снимают гидроцилиндр, и она фиксируется на вилке. Штанги с зондом поднимают внутрь колонны ОТ-73 или вообще извлекают. Затем к верхней части ОТ-73 присоединяют секцию с вертлюгом-сальником 1. Жидкость, подаваемая от насоса в колонну, размывает грунт. По мере углубки колонна ОТ-73 наращивается.

Затем система возвращается в состояние, соответствующее началу выполнения пенетрации, и производится её следующий рейс. При этом для предотвращения прихвата защитной колонны ОТ-73 в скважину постоянно подаётся жидкость через колонную головку (поз. 5 рис. 7).

Далее цикл работы повторяется до проведения пенетрации на заданную глубину. После чего из скважины извлекают штанги с зондом, колонну ОТ-73, а затем, последовательно извлекая секции ОТ-146, поднимают основание на борт судна, которое может перейти на следующую рабочую точку. Поскольку в состав установки входят узлы установки УМБ-130М, то в случае необходимости можно довольно быстро переходить к проведению работ по бурению скважин.

Предварительная оценка технологических и функциональных возможностей УПСЗ-50 и, в целом, апробированная технология её применения позволяет рассматривать предложенную разработку как универсальное эффективное средство для производства как СРТ, так и для бурения инженерно-геологических скважин с борта неспециализированных плавсредств (буксиры, спасательные суда и т.д.).

Литература

1. Калиниченко О.И. Новые технические средства и технологии бурения геологоразведочных скважин, отбора проб и проведения геотехнических исследований на шельфе / Калиниченко О.И., Каракозов А.А., Зыбинский П.В. // Буріння: Науково-виробничий журнал ВГО «Спілка буровиків України». – 2009. – № 1. – С. 24-29.
2. Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D. and Greig, J. (1986) “Use of piezometer cone data”. Proceedings of the ASCE Specialty Conference In Situ’86: Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, Blacksburg, 1263–80, American Society of Engineers (ASCE).
3. Калиниченко, О. И. Гидроударные буровые снаряды и установки для бурения скважин на шельфе / О. И. Калиниченко, П. В. Зыбинский, А. А. Каракозов. – Донецк : «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 270 с.