

УДК 621.878

Зондирование подводного грунта на месте залегания

Михаил Сукач

Киевский национальный университет строительства и архитектуры,
Воздухофлотский просп. 31, Киев, Украина, 03037,
msukach@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0485-4073>

Received: 18.10.2022; Accepted: 23.11.2022
<https://doi.org/10.32347/qbdmm.2022.100.0501>

Аннотация. Технические средства инженерно-геологических изысканий на месте залегания представляют собой наиболее сложное и дорогостоящее оборудование, требующее специального обеспечения для их работы в условиях высокого гидростатического давления и агрессивной среды, соответствующей программы движения судна сопровождения, дистанционного управления исследовательскими аппаратами, передачи и регистрации полученных данных. Комплекс методов и средств для измерения физико-механических свойств донных грунтов в естественном залегании включает штамповые испытания грунтов; измерение сопротивления вращательному срезу крыльчаткой; пенетрационный каротаж; статическое и динамическое зондирование; долгосрочные исследования донными установками; радиометрические методы испытаний грунтов; измерение физических характеристик грунтов; исследование дна планирующими подводными аппаратами. Первые три метода исследования подводных грунтов аналогичны испытаниям в глубоководных скважинах. В данной статье рассматриваются устройства и методы для точечного опробования подводного грунта на месте залегания статическим, динамическим и гравитационным зондированием.

Ключевые слова: статическое и динамическое зондирование, пенетрометр, гравитационные зонды, ударный импульс.

СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Зондирование – это процесс внедрения зонда (пенетрометра) в массив грунта с одновременным измерением сопротивления

внедрению наконечника зонда. Применяются статическое и динамическое зондирование.

Существуют три разновидности статического зондирования: с постоянной скоростью погружения зонда; с постоянной силой погружения зонда и с измерением сопротивления грунта зонду, погружаемому на постоянную глубину [1].

В результате статического зондирования обычно получают удельное сопротивление грунта зондированию, то есть отношение общего усилия на наконечнике зонда к его поперечному сечению и сопротивление трению грунта о боковую поверхность зонда или общее сопротивление породы зонду.

Устройства для статического зондирования позволяют определять несущую способность, угол внутреннего трения, плотность среды (ДСТУ Б.В.2.1-9-2002. Основи та підвалини будинків і споруд).

Во ВСЕГИНГЕО разработано устройство для зондирования осадков (а.с. 1161653), включающее корпус 1, конический наконечник 2, измерительные преобразователи 3, упругий элемент в виде тонкостенного стакана 4, тензорезисторы 5 и 10, размещенные на внутренней поверхности стакана, прямой 6 и обратный 7 клапаны, размещенные в наконечнике 2, диэлектрическую неагрессивную жидкость 8 во внутренней полости устройства и расширительное кольцо 9 (Рис.1).

При вдавлении в донные осадки лобовое усилие, возникающее при взаимодействии наконечника 2 с породой, передается

с конусного наконечника на стенки стакана 4 и воздействует на тензомост 5 в нижней проточке стакана. Трение породы по боковой поверхности стакана вместе с усилием лобового трения воздействует на тензомост 10. При обработке измерений выделяются усилия лобового сопротивления и бокового трения.

Гидростатическое давление наружной воды не оказывает влияния на показания тензодатчиков благодаря дросселированию. Расширительное кольцо 9 снижает трение между бурильными трубами (корпусом 1) и породой. Конус пенетromетра стандартный, угол при вершине конуса 60° , площадь основания 10 см^2 . Устройство испытано на глубине 6000 метров.

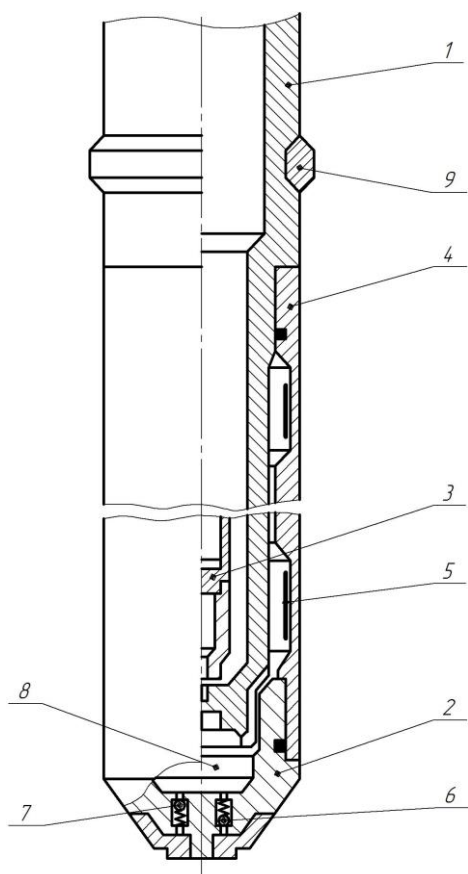


Рис. 1. Устройство для статического зондирования донных осадков института ВСЕГИНГЕО

Fig. 1. Device for static sounding of bottom sediments of VSEGINGEO Institute

В институте "Союзморинжгеология" (Рига) разработан зонд для исследования морских донных грунтов (а.с.1247463). Зонд

содержит корпус в виде трубы, конический наконечник, рубашку трения, трения. Его отличием от предыдущей конструкции является выполнение корпуса в виде камер двух последовательно расположенных гидrocилиндров. Каждая из камер снабжена парой подвижных поршней, один из которых является силовосадающим элементом, а другой – нейтральным.

Датчики лобового трения выполнены в виде мембран, закрепленных по поперечному сечению в камерах между силовосадающими и нейтральными поршнями. При этом камеры заполнены диэлектрической жидкостью, а надпоршневые полости над нейтральными поршнями сообщены с полостью между рубашкой трения и с наружной средой. Устройство способно работать на донных осадках при любой глубине воды.

Разработанное в Великобритании устройство для исследования свойств донных грунтов в Северном море [2] включает якорный барабан 1 в виде купола, телескопическую штангу 2, контейнер с гидрогенератором 3, отсасывающий насос 4, систему трубопроводов 5, контейнер с блоком питания 6, электрический кабель 7 и подъемный трос 8 (Рис.2).

Оригинальность конструкции заключается в методе анкеровки погружного устройства, которая производится за счет откачки из-под купола воды. Таким образом создается разность давления между подкупольным пространством и окружающей средой и под действием гидростатического давления устройство заглубляется в грунт. Вдавливание измерительного щупа в грунт производится с помощью телескопической штанги, во внутреннюю полость которой накачивается вода.

Статический пенетromетр, используемый в качестве навесного оборудования автономных подводных аппаратов, разработан для манипулятора "Дип Квест" и предназначен для быстрого определения сопротивления грунтов по глубине их залегания [3].

Пенетromетр состоит из корпуса 1, наконечника 2, упругого элемента 3 с тензодатчиками 4, соединительного элемента 5 и кабеля 6 (Рис.3). Конус пенетromетра имеет угол при вершине 60° и площадь основания

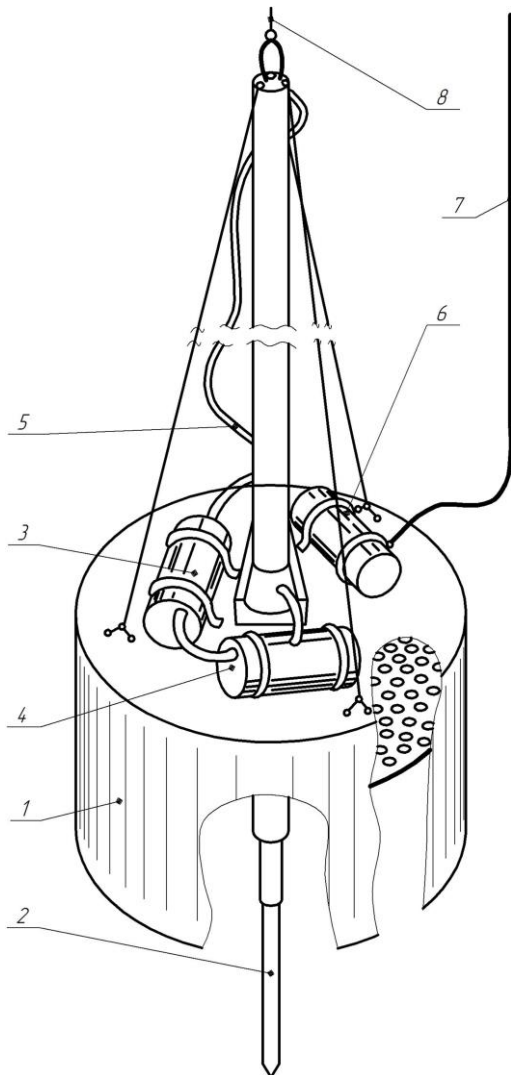


Рис. 2. Устройство для подводного зондирования грунтов компании "Шелл"

Fig. 2. "Shell" underwater sounding device

10 см². Скорость пенетрации 0,17 м/с, допустимое усилие на тензодатчиках 2...200 Н. Тензодатчики 4 гидроизолированы, корпус 1 предохраняет их от абразивного действия грунта. Сопротивление грунта регистрируется в цифровом виде на табло и в аналоговом – на самописце. Максимальное заглубление в грунт пенетromетра 1,1 метра. Рабочая глубина устройства около 1000 метров

ДИНАМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Самым оперативным из всех существующих инженерно-геологических методов исследования глубоководных грунтов является метод динамического зондирования. Этот метод может быть осуществлен в двух

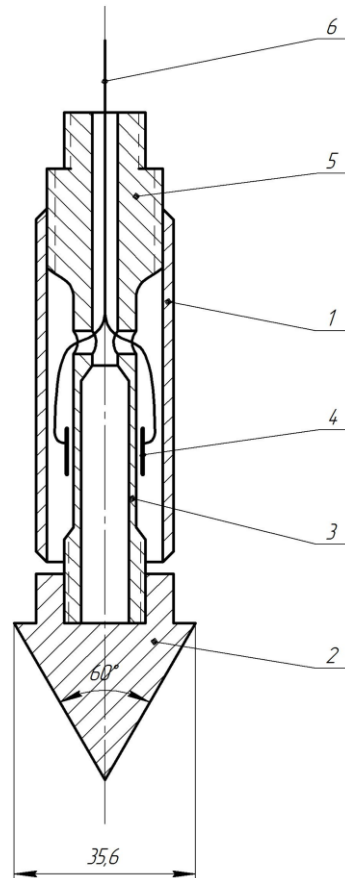


Рис. 3. Пенетрометр, установленный на подводном аппарате "Дип Квест"

Fig. 3. Penetrometer installed on the "Deep Quest" submersible

вариантах: принудительным внедрением зонда (забивкой в грунт) и свободно падающим (гравитационным) зондом.

Метод полевого испытания динамическим зондированием, согласно ДСТУ Б.В.2.1-9-2002, устанавливает показатели измерений по варианту принудительного внедрения зонда в грунт. Этот метод заключается в забивке в грунт ударами молота зонда, представляющего собой колонну штанг, оканчивающихся наконечником-конусом. При этом определяют глубину погружения (забивки) зонда S от определённого числа ударов (залога) и число ударов N , затрачиваемое на интервал погружения зонда (обычно 10 см). Условное динамическое сопротивление вычисляют по формуле [4].

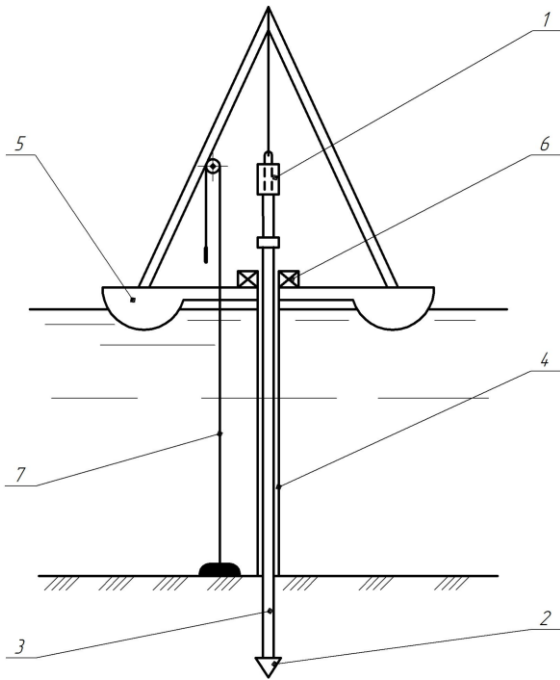


Рис. 4. Динамическое зондирование с понтона
Fig. 4. Dynamic sounding from a pontoon

$$P_g = k\Pi_0\Phi n/h, \text{ Па,}$$

где k – коэффициент, учитывающий потери энергии при ударе; Π_0 – коэффициент, учитывающий тип применяемого оборудования; Φ – коэффициент, учитывающий трение штанг о грунт; n – число ударов, в залоге; h – глубина погружения зонда за залог.

Для динамического зондирования на шельфе применяют установку УБП-15М, смонтированную на понтоне [5]. Пенетрационным молотом 1 забивают в донный грунт специальный конус 2 с углом при вершине 60° , установленный на пенетрационной трубе 3 (Рис. 4). Для исключения их смещения и изгибов используют обсадные трубы 4. Верхний конец колонны труб заземляют на понтоне 5 хомутом 6. Величину погружения зонда в грунт измеряют с помощью размеченного троса 7, перекинутого через блок, закоренного на дне и снабжен-

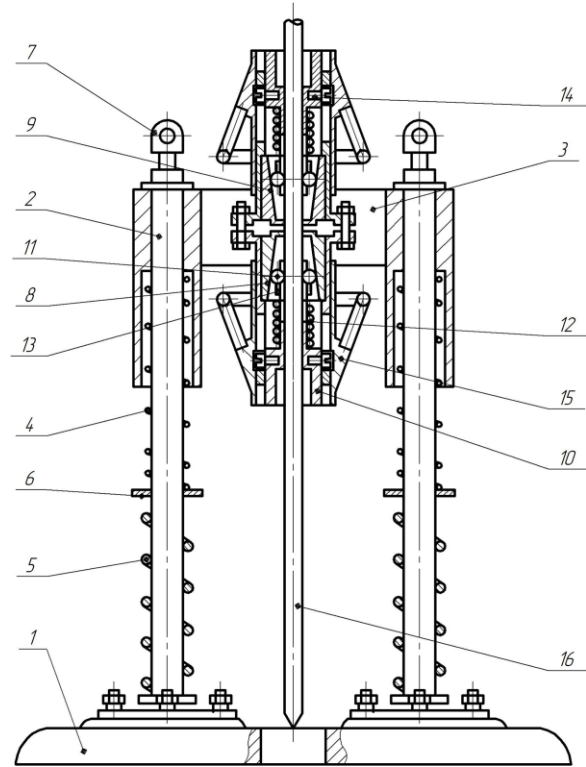


Рис. 5. Установка для динамического зондирования донных грунтов
Fig. 5. Installation for dynamic sounding of bottom soils

ного противовесом с другой стороны. Однако на большой глубине такой способ зондирования с плавсредства не применяется.

На Рис. 5 показана стационарная установка для динамического зондирования подводного грунта (а.с. 554343). Она состоит из опорной плиты 1, направляющей 2, наковальни 3, поджатой пружинами различной жесткости – малой 4, предназначенной для возврата наковальни в исходное положение, и большой 5 с рабочим усилием, соответствующем силе, необходимой для извлечения штанги из грунта. Пружины отделены друг от друга шайбой 6.

Ударное устройство, перемещающее наковальню, выполнено в виде двух импульсных синхронно работающих пневмоизлучателей, закрепленных на наковальне и ориентированных выхлопными отверстиями вверх (условно не показаны). На наковальне закреплены два самозаклинивающих зажимных патрона, каждый из которых состоит из корпуса 8, конусной втулки 9, сепаратора 10, в пазах которого расположены

расклинивающие шарики 11, поджатые пружиной 12 через втулку 13. Сепаратор соединен штифтами 14 с гайкой 15. Оба патрона размещены на наковальне соосно, причем их конусные втулки обращены меньшими основаниями конусов навстречу друг другу.

Преимущества такой конструкции заключаются в быстром извлечении штанги 16 из грунта, а также способности самонастраиваться на создание нужного извлекающего усилия. Вначале, когда сила сцепления штанги 16 с грунтом велика, пружины 5 несколькими ударами сжимаются до положения, близкого к максимальному, и в период пауз между ударами полностью не расправляются. Штанга 16 извлекается короткими перехватами. По мере уменьшения силы, удерживающей штангу в грунте, степень сжатия пружин уменьшается, а длина перехватов за счет более полного их освобождения увеличивается.

Область применения устройств, с принудительным внедрением зонда ограничена прочными грунтами типа глин, так как необходимо жесткое основание для установки этих устройств. На дне океанов помимо глин широко распространены илы и другие слабые осадки. Для их исследования разработаны специальные устройства и конструкции.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Метод гравитационного зондирования донных грунтов не стандартизирован и в отечественной практике пор практически не применяется.

Это связано с отсутствием соответствующих механических систем, методик испытания подводных грунтов свободно падающими зондами и способов интерпретации прочностных и деформационных характеристик глубоководных грунтов по показаниям гравитационного зонда.

За рубежом метод динамического зондирования применяется главным образом в США и Канаде. Лабораторией "Сандия корпорейшен" (США) разработан автономный телеметрический динамический зонд с коническим наконечником [6]. Устройство имело длину 1,52 метра, диаметр 76 мм, вес

47,7 кг и оснащено акселерометром. Зонд сбрасывают в грунт на ходу судна, с которым он связан электрическим проводом диаметром 0,25 мм, разматывающимся с борта судна и передающим с акселерометра параметры ускорения зонда при его ударе о донный грунт. После внедрения в грунт зонд не извлекался. Устройство испытано на глубине 1830 метров. Скорость внедрения зонда в грунт 29 м/с. Максимальная глубина внедрения в осадки 5 метров. Ускорения при ударе от 150 м/с² в илах, до 1400 м/с² в цементированных карбонатных отложениях.

В Ньюфаундлендском мемориальном университете (Канада) разработан морской гравитационный пенетрометр, предназначенный для быстрого определения сопротивления и сдвиговой прочности донных грунтов на глубине до 6 км [3]. Пенетрометр состоит из штанги 1 длиной 2,4 метра и диаметром 89 мм со свинцовыми пригрузами 2 и конусом 3, регистрирующего устройства

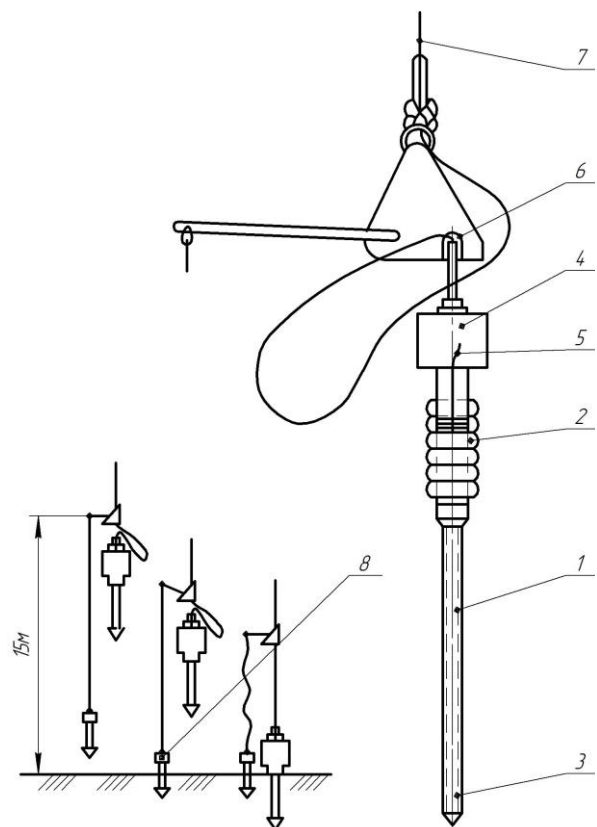


Рис. 6. Гравитационный пенетрометр Ньюфаундлендского университета

Fig. 6. University of Newfoundland gravity penetrometer

4, кабеля связи 5, размыкателя 6, троса подвески 7 и лидирующего груза 8 (Рис. 6). В корпусе пенетрометра установлены акселерометр и стабильный источник гармонических; акустических колебаний.

зонды, предназначенные для изучения прочностных, свойств донных грунтов – сцепления, вязкости, несущей способности методом гравитационного зондирования [7, 8]. В зависимости от прочности грунтов, скоро-

Таблица. Технические характеристики глубоководных зондов

Table. Specifications for Deep Sea Probes

Гравитационные зонды	ГЗЦ	ГЗС	ГЗП	ГЗВ	ГЗФ
Исполнение	цилиндрический	неполно сферический	сферический с поплавками	сферический	
Корпус	гидрокомпенсированный			прочный	
Рабочая среда зонда	масло АМГ-10		масло ПМС-10	воздух	
Измерительный преобразователь	тонкостенный стакан с тензорезисторами	мембрана с тензорезисторами		пьезоакселерометр	
Диапазон измерения	0-12 кН	0-40 кН	0-40 кН	5-800 м/с ²	1-500 м/с ²
Выходной сигнал	аналоговый				цифровой
Габариты, мм	сф. Ø95×380	сф. Ø360×400	сф. Ø360	сф. Ø155	сф. Ø160
Масса, кг	10	40	42	11,5	12

Пенетрометр на тросе опускают до касания лидирующего груза 8 дна моря. После срабатывания размыкателя 6 пенетрометр падает на дно под действием собственного веса. Метод измерения заключается в построении (профиля замедления или скорости) пенетрометра от внедрения его в грунт на основе существующей связи между скоростью пенетрометра и доплеровским сдвигом частоты гармонического акустического сигнала, передаваемого с пенетрометра. Гидроакустический канал связи между пенетрометром и судном работает на частоте 12 кГц. Вес пенетрометра 156 кг, скорость внедрения в грунт до 27 м/с, глубина погружения в грунт до 9 метров.

Испытания гравитационного пенетрометра показали высокую надежность и точность применяемого доплеровского метода измерений замедления пенетрометра, свободно падающего в грунт.

В Киевском национальном университете строительства и архитектуры автором разработаны глубоководные гравитационные

зонды, предназначенные для изучения прочностных, свойств донных грунтов – сцепления, вязкости, несущей способности методом гравитационного зондирования [7, 8]. В зависимости от прочности грунтов, скорости хода плавсредства, необходимой скорости внедрения зонда в грунт применяются различные модификации гравитационных зондов (Табл.).

Гравитационные зонды (Рис. 7, 8) состоят из металлического корпуса, снабженного чувствительным элементом: у ГЗЦ, ГЗС и ГЗП это тензорезисторы у ГЗВ и ГЗФ – пьезоакселерометры. Корпусы первых трех зондов гидрокомпенсированы по схеме поршень – цилиндр, остальные два имеют прочный корпус, в котором установлена цифровая регистрирующая аппаратура. Устройства комплектуются герморазъемом и соединительным кабелем.

Зонды применяются как автономно, так и в составе глубоководных фото- или проботборников, на донных установках и буксируемых аппаратах, использующих контакт лидирующего груза-разведчика (Рис.9). Устройства рассчитаны на работу с борта судна, дрейфующего или движущегося со скоростью 1...3 узла (0,5...1,5 м/с), при волнении моря до 5...6 баллов.

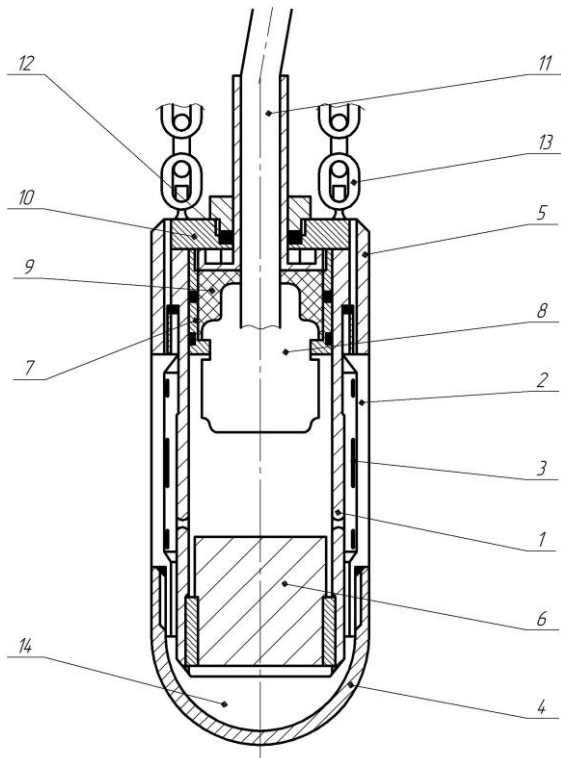


Рис. 7. Цилиндрический гравитационный зонд ГЗЦ:

1 – корпус; 2 – тонкостенный стакан; 3 – резисторы; 4 – сферический наконечник; 5 – муфта; 6 – свинцовый пригруз; 7 – поршень; 8 – герморазъем; 9 – вулканизированная резина; 10 – крышка; 11 – кабель-трос; 12 – кольцевой фильтр; 13 – рым-болт; 14 – диэлектрическая жидкость

Fig. 7. Cylindrical gravity probe GZTs:

1 – housing; 2 – thin-walled glass; 3 – resistors; 4 – spherical tip; 5 – clutch; 6 – lead weight; 7 – piston; 8 – hermetic connector; 9 – vulcanized rubber; 10 – cover; 11 – cable-rope; 12 – ring filter; 13 – eye bolt; 14 – dielectric liquid

Комплектуются с применяемыми на судах техническими средствами для исследования глубоководных грунтов и потому не требуют дополнительных затрат судового времени.

Методика обработки параметров ударного нагружения грунта позволяет по измеренным ударным импульсам гравитационного зонда определять сцепление, вязкость и несущую способность поверхностного слоя дна в ненарушенном состоянии, на месте залегания [9].

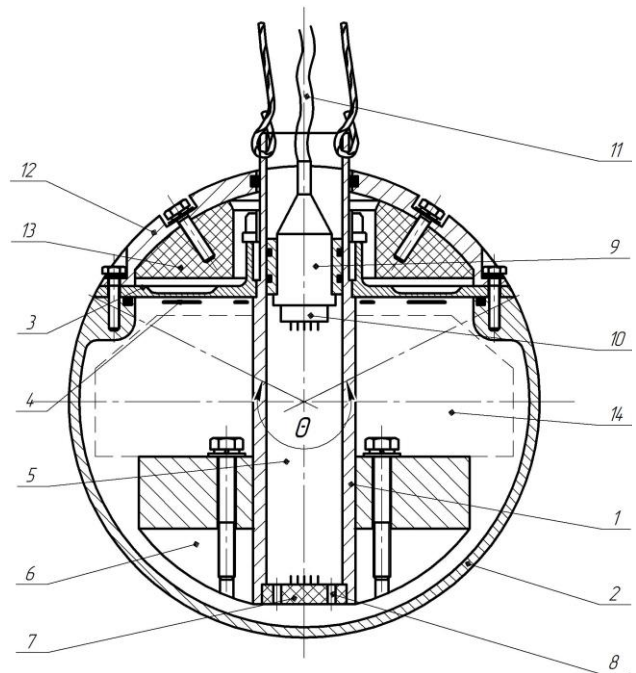


Рис. 8. Сферический гравитационный зонд ГЗП:

1 – корпус; 2 – наконечник; 3 – мембрана; 4 – тензодатчики; 5 – диэлектрическая жидкость; 6 – пригруз; 7 – клеммник; 8 – отверстие для пропуска тензопроводов и диэлектрической жидкости; 9 – компенсационный поршень; 10 – герморазъем; 11 – кабель-трос; 12 – крышка; 13 – синтактиковый поплавок; 14 – блок тензопреобразователей

Fig. 8. Spherical gravity probe GZP:

1 – case; 2 – tip; 3 – membrane; 4 – strain gauges; 5 – dielectric liquid; 6 – weight; 7 – terminal block; 8 – hole for passage of strain gauge lines and dielectric liquid; 9 – compensation piston; 10 – hermetic connector; 11 – cable-rope; 12 – cover; 13 – syntactic float; 14 – block of strain gauges

Для дистанционного измерения и цифровой обработки сигналов гравитационных зондов в КНУСА создан прибор регистрации ударных импульсов ПРИЗ, который применяется совместно с глубоководным фотопробоотборником.

Прибор содержит погружаемую и бортовую части (Рис.10). Погружаемая часть установлена в прочном корпусе гравитационного зонда [10] и включает измерительный преобразователь – пьезоакселерометр с согласующим усилителем и регистрирующую аппаратуру – АЦП, запоминающее

устройство (ЗУ), батарейный блок питания, устройство управления с магнитным ключом. Бортовая часть – устройство обработки данных (УОД) – содержит микропроцессор-

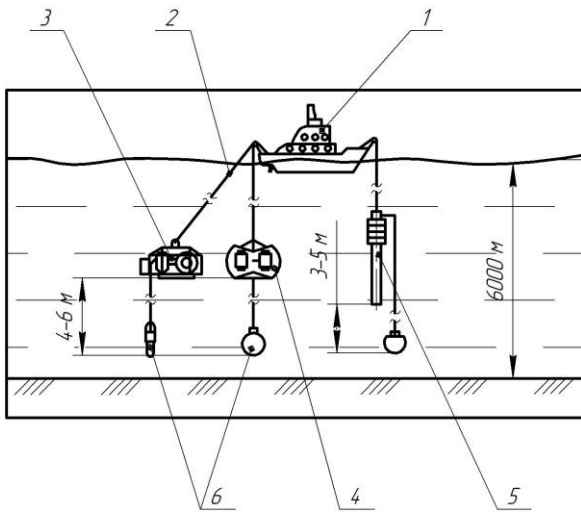


Рис. 9. Схема зондирования донного грунта с подводных носителей: 1 – судно обеспечения; 2 – кабель-трос; 3 – буксируемый фотокомплекс; 4 – грейферный фотопробоотборник; 5 – трубчатый пробоотборник; 6 – гравитационные зонды

Fig. 9. Scheme of bottom soil sounding from underwater carriers: 1 – supply vessel; 2 – cable-rope; 3 – towed photocomplex; 4 – clamshell photo-sampler; 5 – tubular sampler; 6 – gravity probes

ное устройство управления, внутреннее полупроводниковое ЗУ, внешний накопитель на базе бытового кассетного магнитофона, сетевой блок питания и индикаторное табло.

Диапазон измеряемых прибором ускорений $1...500 \text{ м/с}^2$, частота опроса датчика 500 Гц, рабочий диапазон частот $0,5...250 \text{ Гц}$. Количество регистрируемых, ударных импульсов за одно погружение зонда на глубину – до 8.

Длительность работы погружаемой части без смены блоков питания – до 5 погружений на глубину 6000 метров. Потребляемая мощность зонда 10 Вт.

Устройство работает следующим образом. Погружаемую часть (зонд) подвешивают тросом к подводному носителю, например, фотопробоотборнику, вместо груза-разведчика на расстоянии $4...6 \text{ метров}$ и опускают на дно до момента касания с грунтом. Запись ударного импульса на ЗУ

включается автоматически при заданном пороге чувствительности 10 % и продолжается в течении одной секунды. После экспозиции фотокадра и отбора пробы грунта носитель поднимают над дном и производят повторные удары зондом. По окончании зондирования (в данном случае до 8 точек опробования) ГЗ поднимают вместе с фотопробоотборником на борт судна для считывания информации.

Режимы работы прибора: регистрация ударных импульсов на ЗУ ГЗ; запись сигналов с ГЗ на УОД через герморазъем; индикация данных на табло в пошаговом режиме; запись содержимого ЗУ УОД на внешний накопитель (кассетный магнитофон); передача информации с внешнего накопителя через разъем УОД на судовую ЭВМ.

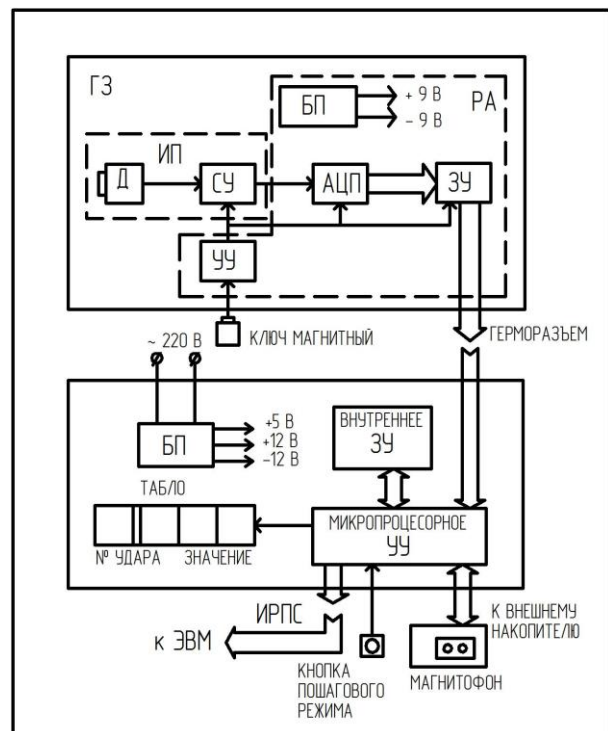


Рис. 10. Прибор регистрации ударных импульсов гравитационных зондов ПРИЗ: ГЗ – погружаемая часть (гравитационный зонд); УОД – бортовая часть (устройство обработки данных)

Fig. 10. PRIZ device for registration of shock pulses of gravity probes: GZ – submersible part (gravity probe); UOD – onboard part (data processing device)

Прибор ПРИЗ применяют в комплекте с гравитационными зондами, донными пробаторами и фотоустановками, контактирующими с дном. Наряду с основными технологическими операциями он позволяет дополнительно определять прочностные характеристики донных грунтов на месте естественного залегания.

В Альбукерской национальной лаборатории (США) создан ударный пенетромметр, оснащенный взрывным устройством для погружения в грунт, системой регистрации и передачи данных на сопровождающее судно [11]. При длине 3 метра и диаметре 200 мм масса пенетромметра достигает 340 кг. Пенетромметр снабжен зарядом весом 5 кг, акселерометром, датчиками давления и температуры, АЦП и микро ЭВМ.

На заданном расстоянии от дна по команде с судна производят запуск взрывного устройства, которое при скорости до 100 м/с заглубляет пенетромметр в донные осадки до 50 метров. Далее с определенным интервалом производят подрыв малых зарядов, которые производят дальнейшее заглубление пенетромметра в осадки.

Акустические сигналы от взрывов принимаются гидрофонами, остающимися на поверхности грунта. По времени прохождения акустических сигналов вычисляют скорость звука в грунте и величину затухания, а также амплитуду и время задержки по глубине. Передача информации осуществляется по кабельному на частоте 100 Гц и гидроакустическому на частоте 2 кГц каналам связи. Ударный пенетромметр испытан в Тихом океане на глубине 6000 метров.

ВЫВОДЫ

1. Преимуществами статического зондирования донных грунтов является непрерывность по глубине и эффективность измерения сопротивления внедрению в любых типах грунтов. Недостатки же заключаются в трудности определения корреляционных связей результатов измерений с параметрами пенетрации, необходимости обеспечения больших усилий при глубоком внедрении в грунт, которые ограничены массой

донной установки, задавливающей пенетромметр.

2. Методы динамического зондирования отличаются относительно высокой оперативностью точечного опробования глубоководных грунтов, простотой внедрения зонда и измерения параметров исследования. К недостаткам его можно отнести относительную сложность интерпретации результатов измерений и необходимость создания специализированных технических средств для обеспечения необходимой энергии внедрения пенетромметра [12].

3. Гравитационное зондирование, как наиболее простое в использовании, может быть с успехом применено в специфических условиях, таких как глубоководное опробование морского дна на больших площадях, не требуя при этом сложного оборудования обеспечения. Однако имеются определенные трудности в интерпретации геологических данных, требующих дальнейших исследований и идентификации полученных данных с результатами исследований традиционными методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сукач М. К.**, 2021. Этапы и стадийность изучения морского дна для землеройных систем. Гірн., буд., дор. та меліорат. машини, Вип.97, 47-56.
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0401>.
2. **Баладинский В. Л., Лобанов В. А., Галанов Б. А.**, 1979. Машины и механизмы для подводных работ. Ленинград, Судостроение, 191.
3. **Лобанов В. А.**, 1983. Справочник по технике освоения шельфа. Ленинград, Судостроение, 288.
4. **Баладинский В. Л., Сукач М. К.**, 1999. Подводные строительные работы: учеб. пособ. Киев, ИСМО, 224. ISBN 5-7763-2139-5.
5. **Архангельский И. В.**, 1980. Морское бурение инженерно-геологических скважин. Ленинград, Недра, 263.
6. **Colp J. L. et.**, 1975. IEE Ocean, Publication 75.
7. **Сукач М. К.**, 1991. Гравитационные зонды для определения прочности подводных грунтов. Торфяная промышленность, Вып. 9, 37-40.

8. **Сукач М. К.**, 2004. Рабочие процессы глубоководных машин. Киев, Наукова думка, 364. ISBN 966-00-0818-X.
9. **Сукач М. К., Комоцька С. Ю.**, 2018. Метод визначення властивостей донних ґрунтів in-situ. Підводні технології, Вип. 08, 44-46. <https://doi.org/10.26884/uwt1804.1102>.
10. **Николаевский В. Н., Сарников Н. М., Шефтер Г. М.**, 1975. Динамика упругопластических дилатирующих сред. Москва, Наука, 397.
11. **James L. T. et al**, 1981. Oceans 81, Conf. Rec. Boston, mass., New York, Vol.1.
12. **Сукач М. К.**, 2021. Условия функционирования и оценка донного фона глубоководных аппаратов. Підводні технології, Вип.11, 30-44. <https://doi.org/10.32347/uwt2021.11.1301>.
11. **James L. T. et al**, (1981). Oceans 81, Conf. Rec. Boston, mass., New York, Vol.1.
12. **Sukach M. K.**, (2021). Operating conditions and assessment of the bottom background of deep-sea vehicles. Underwater Technologies, Vyp.11, 30-44. <https://doi.org/10.32347/uwt2021.11.1301>.

REFERENCES

1. **Sukach M. K.**, (2021). Stages and staging of the study of the seabed for earthmoving systems. Girnich, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashyny, №97, 47-56. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0401>. (in Russian).
2. **Baladinskij V. L., Lobanov V. A., Galanov B. A.**, (1979). Mashiny i mehanizmy dlja podvodnyh rabot. Leningrad, Sudostroenie, 191. (in Russian).
3. **Lobanov V. A.**, (1983). Spravochnik po tehnike osvoenija shel'fa. Leningrad, Sudostroenie, 288.
4. **Baladinskij V. L., Sukach M. K.**, (1999). Podvodnye stroitel'nye raboty: ucheb. posob. Kyiv, ISMO, 224. ISBN 5-7763-2139-5. (in Russian).
5. **Arhangel'skij I. V.**, (1980). Morskoe burenie inzhenerno-geologicheskikh skvazhin. Leningrad, Nedra, 263. (in Russian).
6. **Colp J. L. et.**, (1975). IEE Ocean, Publication 75.
7. **Sukach M. K.**, (1991). Gravitacionnye zondy dlja opredelenija prochnosti podvodnyh gruntov. Torfjanaja promyshlennost', Vol.9, 37-40. (in Russian).
8. **Sukach M. K.**, (2004). Workings processes of deep-water machines. Kiev, Naukova dumka, 364. ISBN 966-00-0818-X.
9. **Sukach M. K., Komotska S. Yu.**, (2018). Method for determining bottom soil properties in-situ. Underwater Technologies, Vol.08, 44-46. <https://doi.org/10.26884/uwt1804.1102>.
10. **Nikolaevskij V. N., Sarnikov N. M., Shefter G. M.**, (1975). Dinamika uprugoplasticheskikh dilatirujushchih sred. Moscow, Nauka, 397. (in Russian).

Underwater soil sounding at the site of burial

Mykhailo Sukach

*Kyiv National University of
Construction and Architecture*

Abstract. Technical means of engineering-geological research at the site of occurrence are the most complex and expensive equipment, requiring special equipment for their operation in conditions of high hydrostatic pressure and aggressive environment, the corresponding program of the movement of the escort vessel, remote control of research devices, transmission and registration of received data. The complex of methods and means for measuring the physical and mechanical properties of bottom soils in natural occurrence includes stamp tests of soils; measurement of resistance to rotational shear with an impeller; penetration logging; static and dynamic sounding; long-term studies with bottom installations; radiometric methods of testing soils; measurement of physical characteristics of soils; bottom exploration by gliding submersibles. This article discusses devices and methods for point testing of underwater soil in situ by static, dynamic and gravity sounding.

Keywords: static and dynamic sounding, penetrometer, gravity probes, shock pulse.