

## Малоглубинная аппаратура для морских исследований

**Ингеров Игорь Александрович<sup>1</sup>, Ермолин Евгений Юрьевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Advanced Geophysical Operations and Services Inc. (AGCOS)*

<sup>2</sup> *Сервисная геолого-геофизическая компания ООО «ДЖИ М Сервис»*

### **Введение**

Для глубоководных бассейнов за последние 3-три десятилетия были созданы технологии и аппаратура для выполнения работ магнитотеллурическими методами (МТЗ), а также с контролируемым EM источником. Накоплен богатый положительный опыт в поисках залежей углеводородов в самых различных районах мира [Chave et al., 1991, Farelly, 2004, The Phoenix, 2004, Vozoff, 1991]. Однако эти же работы выявили ряд проблем в обеспечении рентабельности морских EM исследований. Поскольку аренда судна стоит несколько десятков тысяч долларов в день, для того чтобы сделать стоимость точки EM зондирования приемлемой, приходится одновременно задействовать несколько десятков донных приемников. То есть, работы требуют значительных капитальных затрат (аренда судна, стоимость аппаратуры, содержание полевой команды и т.д.). Поэтому, такие работы могут быть рентабельны только при исследовании крупных участков. Другой особенностью глубоководной аппаратуры является ее значительный вес и наличие преимущественно 2-х или 4-х каналов в системе для регистрации EM полей. Крупнотоннажное судно сложно и неэффективно задействовать на мелководье. Поэтому в таких условиях значительно эффективней может оказаться использование маломерных маневренных судов. Такая концепция предъявляет повышенные требования к габариту и весу морской аппаратуры. Как было установлено в первой декаде нынешнего столетия, использование вертикальной магнитной компоненты EM поля позволяет получить существенную дополнительную информацию [Fox, 2007]. Этот факт обуславливает желание иметь в составе подводной системы 5-ти или 3-х канальные модули, оснащенные вертикальным магнитным датчиком. При создании мелководной аппаратуры следует также учитывать два существенных фактора, влияющих на качество полевых записей - волнение моря, подводные течения и т.д.

Первые опыты на мелководье с аппаратурой MTU были выполнены китайскими геофизиками в заливе Бахай в начале нынешнего века [The Phoenix, 2004]. Работы проводились с рыбацкой джонки с растягиванием электрических линий с помощью шлюпок (Рис 1).

а)



б)



Рис. 1. (а) Китайская рыбацкая джонка используемая компанией ЗПХ как «базовое судно» для проведения морских работ; аппаратура устанавливалась с моторных лодок; (б) Подготовка аппаратуры сотрудниками ЗПХ на палубе судна.

Несмотря на полученный положительный геологический результат, применяемая методика не выдерживала серьезной критики с точки зрения безопасности проведения работ, метрологии, производительности и себестоимости. В проектировании подводной аппаратуры

существует два подхода. Первый из них предусматривает создание цельной станции, включая регистратор ЭМ полей. Второй подход, предусматривает использование известных, хорошо себя зарекомендовавших наземных регистраторов и датчиков магнитных компонент ЭМ поля и создание только герметизированных корпусов, систем управления и контроля, систем связи и сигнализации, систем всплытия и погружения. Авторы настоящей работы пошли по второму пути. Второй особенностью разработанной авторами аппаратуры является наличие 2-х градаций аппаратуры, имеющих специфические механические характеристики: аппаратура для транзитных зон (глубина 0-50м) и аппаратура для шельфа (глубина 10-200м) [Ingerov, 2011, 2014]. На акваториях существенно меняющейся глубиной возможно использование 2-х видов аппаратуры совместно.

### **Донные системы для транзитных зон**

Это наиболее сложный вид морского оборудования, поскольку с одной стороны работы с их применением выполняются в экологически чувствительных акваториях и на дне нежелательно оставлять элементы работы этих систем. С другой стороны, этим системам приходится работать в условиях повышенных электромагнитных помех, связанных с морским течением, волнением моря, а также помехами от береговых силовых установок, линий электропередач и от проходящих судов. Отсюда повышенные требования к высоте и обтекаемости корпуса систем (минимальное сопротивление корпуса), недопустимость сброса бетонных плит или других элементов, используемых в качестве сбрасываемых якорей в донных станциях. Высокие экологические требования также исключают использование свинца и его солей в конструкции пористых неполяризуемых электродов. 2-х канальная малоглубинная электромагнитная система SMMT была специально разработана, испытана и запущена в производство для проведения работ в мелководных, морских и пресноводных водоемах в глубинном интервале от 0 до 50м (Рис. 2).



Рис. 2. Морские донные ЭМ станции для работ в транзитных зонах; (а) 2-х канальная система SMMT; (б) Запуск системы SMMT с палубы катамарана.

Важно отметить, что система является также очень удобной для проведения работ на периодически затопляемых территориях (приливные территории, лиманы, нагонная вода). Как уже отмечалось выше, морская система состоит из двух основных частей. Первым является погружаемый герметический модуль с системами всплытия, связи и сигнализации, а также телескопическими электрическими приемными линиями с малозумящими, неполяризуемыми электродами. Вторым существенным элементом системы является многоканальный многофункциональный регистратор ЭМ полей и батарея питания к нему. Система SMMT (2-канала) имеет довольно малую высоту, которая обеспечивает низкое аэродинамическое сопротивление, а также ограниченный вес, позволяющий двум работникам довольно свободно перемещать систему в собранном виде. Система была испытана и показала хорошие функциональные возможности с многофункциональными приемниками: MTU-2E, MTU-5A, Гепард-4, Гепард-8. То есть, система может эксплуатироваться с обычными наземными многофункциональными ЭМ регистраторами, которые выпускаются различными геофизическими компаниями.

Система имеет прочную раму, на которую крепятся обтекаемый корпус, 2-ва герметизированных цилиндра, в которых находятся регистрирующий прибор, система связи и управления, а также батареи питания. 4-ре телескопические штанги, с неполяризуемыми электродами легко присоединяются и отсоединяются специальными разъемами и замками. В пазах системы находятся элементы специально разработанной экологически-чистой системы спуска-подъема. Система имеет 4-х кратный запас плавучести. В погруженном состоянии, станция задействует акустический модуль связи, а также акустический маяк, рассчитанный на работу не менее месяца в том случае, если устройство акустической связи по каким-то причинам даст сбой. В надводном положении на системе работают радио и световой маяки, а также радиосвязь. Малые размеры и вес системы, а также съемные телескопические штанги позволяют задействовать с маломерного судна (понтон, катамаран, яхта, буксир) до 10-ти систем. При этом предъявляются весьма умеренные требования к подъемному крану судна (грузоподъемность 0.5 тонн, вынос стрелы за борт судна 2 м).

Запуск системы в работу производится следующим образом. После установки свежих батарей и съемной карты с расписанием регистрации данных, герметизируются корпуса, в которых размещено оборудование. Судно выходит в намеченный район, прибор синхронизируется с GPS, активизируется средства связи и сигнализации. Система с помощью крана выносится за борт, последовательно присоединяются штанги электрических линий, система опускается на поверхность воды, производится перезагрузка системы спуска-подъема, и система плавно погружается на морское дно. В запрограммированное в расписание время, система начнёт регистрацию EM поля синхронно (по GPS) с другими подводными приборами, а также наземной базовой станцией. Подъем системы, перемещение на следующую точку измерений и спуск, производится в такой же последовательности.

### **Донные системы для шельфа**

Донные системы для шельфа рассчитаны работать в глубинном интервале от 10 до 200м [Ingerov, 2011, 2014]. 2-х и 5-ти каналные системы представлены на Рис. 3а и 3б соответственно. Главным конструктивным элементом каждой системы является рама из прочного немагнитного материала. Пластиковая платформа, прикрепленная к нижней части рамы является местом крепления основных рабочих элементов системы. К днищу системы крепятся две разъемные сферы. В одной из них устанавливается регистрирующий прибор (2, 4, 5 или 8 каналов), а также системы управления, связи и сигнализации. Во второй сфере установлены батареи для регистратора EM поля и для каждой из подсистем. Сферы соединены между собой морскими кабелями высокого давления. К плите также прикреплены 4-ре телескопические штанги, с малошумящими, неполяризуемыми электродами. Держатели штанг соединены со сферой регистратора морскими кабелями с разъемами высокого давления. К днищу плиты крепится отстреливаемый бетонный груз, который придает системе отрицательную плавучесть. Донная станция оборудована устройствами акустической связи и сигнализации, а также системой радио связи, которая активизируется при всплытии системы на поверхность. Внутри сфер также находятся датчики, с помощью которых контроллер регистрирует глубину, азимут системы, угол наклона, температуру, влажность внутри сфер и другие параметры. К верхней части рамы крепится комплект буй для балансировки станции в погруженном состоянии, а также всплывающий по команде буй, содержащий крепкий трос. К раме крепятся регулируемые ноги, которые служат для нивелирования системы на дне (5-ти компонентный вариант) и предохраняют систему от присасывания днища к илистому грунту.

В 5-ти канальном варианте системы, в специальных корпусах, рассчитанных на высокое давление, размещены 3 ортогональных магнитных датчика. Датчики соединены со сферой регистратора магнитного поля глубоководными кабелями высокого давления. По желанию заказчика, на 5-ти канальную систему может устанавливаться устройство автоматического нивелирования магнитных датчиков. Станции оборудованы основной и аварийной системой всплытия. В основной, предусмотрен подъем станции по акустическому сигналу с

поверхности с помощью всплывающего буя с тросом. Трос автоматически разматывается по мере всплытия буя. Судно подходит к всплывшему бую, цепляет трос на лебедку крана и поднимает систему за трос на поверхность, и далее краном на палубу судна. Если по каким-то причинам произошел отказ в работе всплывающего буя, в аварийном варианте, подается акустический сигнал на отстрел бетонной плиты. Так как без бетонной плиты система имеет положительную плавучесть, она с умеренной скоростью всплывает на поверхность. Ограниченные размеры и вес системы (2-х канальная - 160 кг, и 5-ти канальная - 300кг) позволяют использовать для эксплуатации систем суда относительно небольшого водоизмещения с выносом крана за борт судна на 5м и грузоподъемностью крана 2 тонны.

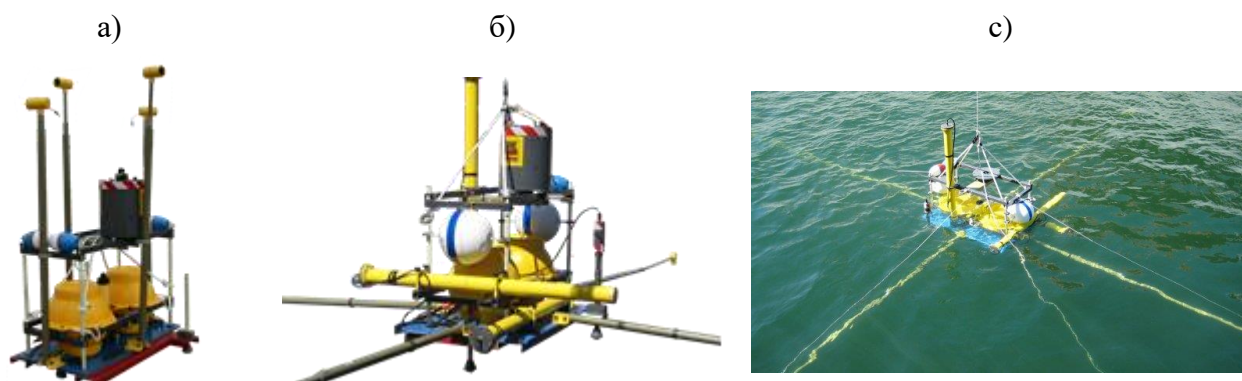


Рис. 3. Морские донные EM станции для работ на шельфе; (а) 2-канальная 2AUSS-07A; (б) 5-канальная 5AUSS-07A; (в) Подъем малоглубинной донной станции в Черном море.

### Заключение

Созданы и опробованы на практике малоглубинные донные станции для регистрации EM полей. Ограниченные размеры и вес системы, а также их оригинальная конструкция, позволяет использовать обслуживающую бригаду ограниченного состава (3-5 человек, без учета экипажа судна). Описанные системы позволяют использовать суда небольшого водоизмещения, что значительно сокращает себестоимость работ и маневренность на мелководье.

### Список литературы

- Chave A.D., et al.* Electrical Exploration Methods for the Seafloor, In: Nabighian, M. (Ed) // Investigations in Geophysics, No. 3 – Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. 1991. Vol.2, Application/Parts A and B, SEG publication.
- Farely B., et al.* Remote characterization of hydrocarbon filled reservoirs at the Troll Field by Sea Bed Logging // 2004. EAGE Fall Research Workshop, Rhodes, Greece.
- Fox L. and Ingerov O.* Natural source EM for offshore hydrocarbon detection offers potential cost savings // First Break. Nov. 2007. Vol.25.
- Ingerov I.* Multifunction seabed EM receivers for coastal shelf and transition zones exploration // 22nd EM Induction Workshop, Weimar, Germany. 2014. Extended Abstract.
- Ingerov O.* Current trends in the development of electroprospecting hardware set for ground and marine surveys // EMS-2011. St. Petersburg, Russia, Abstracts. Vol.1, 86-101.
- Marine MT in China with Phoenix equipment* // The Phoenix (newsletter of Phoenix Geophysics Ltd.). 2004. Issue #34.
- Vozoff K.* The magnetotelluric method. In: Nabighian, M. (Ed.) // Investigations in Geophysics. 1991. No.3 – Electromagnetic Methods in Applied Geophysics, Vol.2, Application/Parts A and B, SEG publication