

Импульсные электромагнитные сейсмоисточники "Енисей": особенности технического решения и применения.

В.А. Детков, П.Ю. Шадин – "Енисейгеофизика", г. Красноярск,
В.В. Ивашин – Тольяттинский государственный университет, г.Тольятти.

Сейсмоисточники являются одной из основных частей сейсморазведочного комплекса. Их технические характеристики определяют частотный спектр и интенсивность создаваемых сейсмических волн, уровень вредного экологического воздействия, стоимость и возможности проведения сейсморазведочных работ в различных природных условиях.

Известные недостатки взрывного способа создания сейсмических волн – наносимый природе вред, повышенная опасность проведения взрывных работ, ограниченность применения и т.д., побудили к разработке невзрывных сейсмоисточников. Уже с начала 70-х начали применяться электрогидравлические сейсмические вибраторы и импульсные сейсмоисточники с газодинамическим, пневматическим, электродинамическим силовым приводом, а так же сейсмоисточники типа "падающий груз".

Разработка невзрывных сейсмоисточников проводилась как с учетом опыта зарубежных фирм, так и на основе оригинальных отечественных технических решений. В настоящее время широкое применение находят, в основном электрогидравлические сейсмические вибраторы и импульсные электромагнитные сейсмоисточники.

Сделаем оценку технических решений, обеспечивших электромагнитным сейсмоисточникам более высокие технико-эксплуатационные показатели в сравнении с импульсными сейсмоисточниками иных типов.

Обычно импульсный источник поверхностного типа генерирует сейсмические волны созданием деформации грунта x при воздействии на плиту-антенну силой $P(t)$ (рис.1а).

При деформации грунта энергия, поступающая от источника силы $P(t)$, затрачивается на уплотнение грунта и на создание упругой части деформации, следствием которой является создание сейсмических волн различного типа: поверхностной, поперечной и продольной. Сейсмическая эффективность сейсмоисточника определяется интенсивностью продольной волны. С увеличением силы $P(t)$ увеличивается скорость смещения V_{cm} частиц в прилегающей к плите слое грунта и давление σ в грунте, определяющее с учетом диаметра D плиты реакцию грунта при его деформации. Известно, что при распространении сейсмической волны в грунте механические напряжения σ в нем определяются скоростью V_{cm} и волновым сопротивлением $C = \rho \cdot Vp$, где ρ –

плотность грунта, а Vp – скорость распространения продольной сейсмической волны

$$V_p = \sigma / \rho \cdot Vp \quad (1)$$

При увеличении V_{cm} увеличиваются механические напряжения в грунте под плитой, что соответственно приводит к увеличению потерь на неупругие деформации грунта и снижению коэффициента преобразования энергии воздействия на грунт в энергию его упругой деформации. Графики на рис. 1б показывают качественную зависимость распределения энергии воздействия A на грунт между энергией, затрачиваемой на неупругую A_n и упругую A_y деформацию. В работе [1] показано, что при $V_{cm} > (0,5+1)$ м/с существенного приращения упругих деформаций грунта не происходит, а энергия A воздействия на грунт затрачивается в основном на диссипацию при уплотнении грунта и поверхностные волны.

Из [1] для случая, например, грунтов средней прочности, характеризуемыми параметрами $\sigma = 5 \cdot 10^5$ Па (5 кгс/см²), $\rho \approx 2000$ кг/м³ и $Vp \approx 300$ м/с.

$$V_{cm} = \frac{\sigma}{\rho \cdot Vp} = \frac{5 \cdot 10^5}{2000 \cdot 300} = 0,83 \text{ м/с}$$

Важно отметить, что при увеличении прочности грунта под плитой увеличиваются σ , ρ и Vp . Рациональное же значение создаваемой скорости деформации грунта при этом изменится менее значительно и может быть принято равным $\sim 0,5+1$ м/с. По крайней мере существенное превышение скорости V_{cm} плиты при деформации его грунта представляется нежелательным.

Важной характеристикой сейсмоисточника, существенно определяющей его вес и стоимость, является время τ деформации грунта плитой-антенной. В работе Харкевича А.А. [2] теоретически показано, что даже при деформации грунта с постоянной скоростью время формирования сейсмической волны определяется соотношением:

$$\tau = \frac{D}{Vp}$$

За время τ деформации грунта положительное значение давления в грунте под плитой уменьшается до нуля (и даже может изменить знак). Например, при $D \approx 2$ м и $Vp \approx 300$ м/с

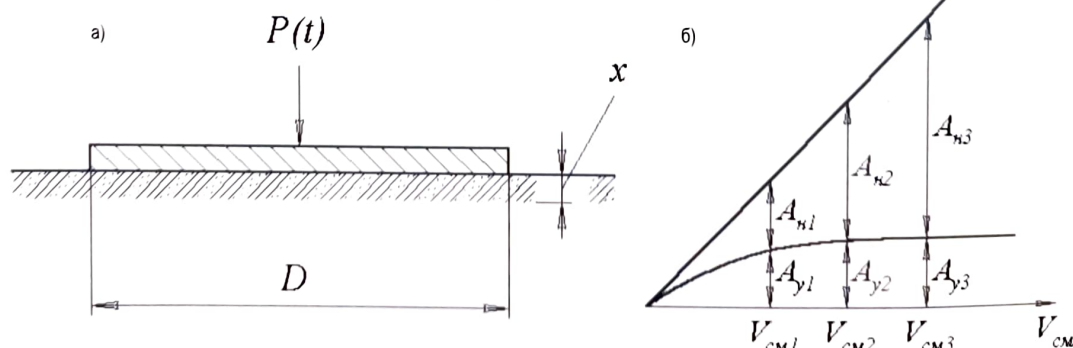


Рис. 1 а) – упрощенная принципиальная схема; б) – качественная зависимость энергии A_n – неупругой и A_y – упругой деформации грунта от скорости смещения V_{cm}

времени $\approx 6,6 \cdot 10^{-5}$ с

Величина и длительность прикладываемой к плите силы, в значительной мере определяющие весовые, стоимостные и эксплуатационные показатели сейсмоисточника, были положены в основу проектирования сейсмоисточника "Енисей".

Для сейсмоисточников был разработан специальный электромагнитный привод, содержащий короткоходовой электромагнит с импульсной системой возбуждения магнитного поля, обеспечивающий необходимые воздействия на плиту антенны при высоком кпд преобразования потребляемой энергии в механическую [3].

Недостаточная сейсмическая эффективность, разрабатывавшихся ранее и не нашедших достаточно широкого применения невзрывных сейсмоисточников обусловлена в основном тем, что они не обеспечивали эффективную передачу механической энергии двигателя в энергию упругих деформаций грунта. Например, в сейсмоисточнике типа "падающий груз" при падении ударника с высоты $H_0 = (2+3)$ м с ускорением силы тяжести скорость воздействия на грунт $V_0 \approx (6+8)$ м/с, при которой энергия воздействия на грунт в основном затрачивается на неупругие деформации грунта (на его уплотнение и даже разрушение). Газодинамические сейсмоисточники также воздействовали на грунт со скоростями во много раз превышающими скорости смещения $[V_0]$ частиц грунта при распространении сейсмической волны. В сейсмоисточниках "Сейсодин" был применен электродинамический двигатель с рабочим ходом $\sim 20 \cdot 10^{-1}$ м, превышающим смещение плиты при деформации грунта в 10-20 раз. При работе сейсмоисточника основная часть механической энергии такого двигателя передавалась в реактивную массу (до 90+95%), а не в энергию деформации грунта.

На рис. 2 приведены упрощенная конструктивная схема сейсмоисточника "Енисей" и силовая часть схемы возбуждения магнитного поля его силового электромагнита, поясняющие особенности работы сейсмоисточника [4, 5]. При пропускании тока по обмотке возбуждения 5 индуктора создается поток Φ и между магнитопроводами индуктора 4 и якоря 6 создается сила $P(t)$. Через консоли 7 якоря и стойки 2 эта сила передается на расположенную на грунте жесткую плиту 1, что приводит к деформации его грунта и созданию сейсмической волны. Под действием силы $P(t)$ опёртая на плиту реактивная масса 3 вместе с закреплённым на ней

индуктором перемещается (ускоряется) вверх. В результате встречного движения якоря вниз, а индуктора вверх, зазор δ между ними уменьшается до нуля, и происходит удар якоря и индуктора. При этом якорь теряет связь со стойками, действие силы $P(t)$ на плиту прекращается, и якорь, притянутый электромагнитной силой к индуктору, вместе с ним и реактивной массой перемещается по инерции вверх в поле силы тяжести. Затем они возвращаются вниз. Для ослабления удара якоря о стойки и пригнута о плиту в момент их возврата в исходное положение между плитой и пригрузом установлены односторонние демпферы (на рисунке не показаны).

Схема питания (рис. 2б) обеспечивает при разряде ёмкостного накопителя энергии C через тиристор VS за время t_1 , $t_2 = (1,5+2) \cdot 10^{-5}$ с быстрый ввод энергии в магнитное поле электромагнита с последующим её преобразованием в механическую за время $t_3 - t_4 = (4+6) \cdot 10^{-5}$ с при среднем постоянстве силы $P(t)$ с момента автоматического закорачивания обмотки возбуждения диодом VD . За время выбора зазора энергия магнитного поля, заключенная в объеме зазора между магнитопроводами якоря и индуктора, преобразуется в механическую, значительная часть которой передается в энергию деформации грунта. По мере уменьшения зазора под действием силы $P(t)$ ток возбуждения уменьшается на интервале времени t_5 от максимального значения до уровня $I_0 = (0,2+0,3)/m$, определяемого степенью насыщения магнитопровода якоря и индуктора.

Электромагнит весом ~ 500 кг, получивший в настоящее время наиболее широкое применение в импульсных сейсмоисточниках, развивает усилие $P \approx 25 \cdot 10^4$ Н, генерирует при зазоре $\delta_0 \approx 5 \cdot 10^{-1}$ м механическую энергию $Am \approx 1250$ Дж и развивает среднюю за время выбора зазора механическую мощность $N \approx 250$ кВт, примерно четверть которой (в зависимости от жесткости грунта) расходуется на деформацию грунта под плитой, а три четверти — на ускорение реактивной массы вверх.

Увеличение создаваемой на плиту силы может обеспечиваться применением нескольких электромагнитов. Например, в санном сейсмоисточнике СЭМ-100 на каждом полюсе помещено по два электромагнита с параллельным соединением обмоток возбуждения к ёмкостному накопителю энергии. Ограничение максимального напряжения на ёмкостном накопителе уровнем до 1000 В обусловлено условиями эксплуатации и

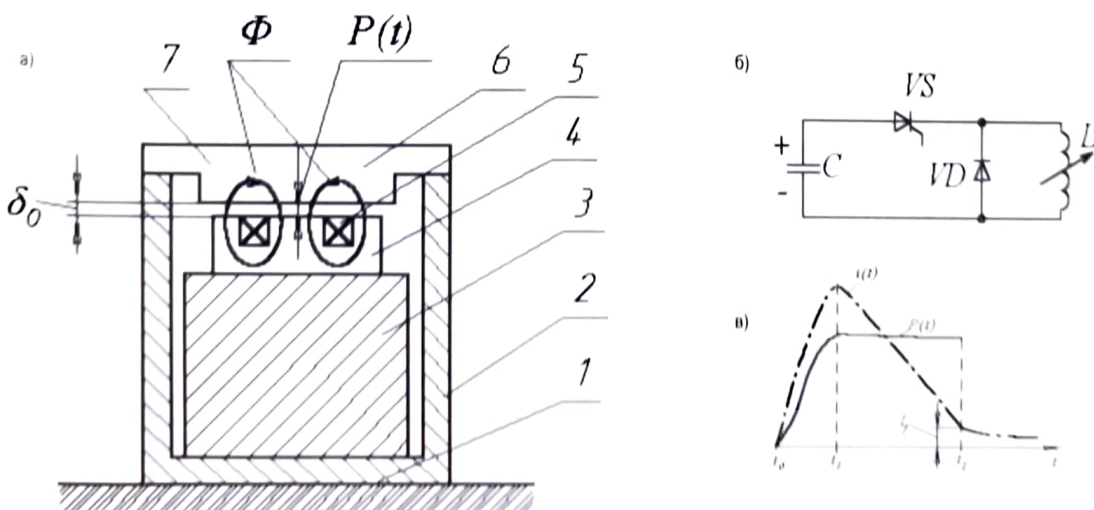


Рис. 2. Конструктивная схема сейсмоисточника, (а) силовая часть схемы возбуждения магнитного поля электромагнита, (б) диаграммы изменения силы $P(t)$ и тока i в его обмотке возбуждения электромагнита (в)

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

обеспечением техники безопасности с электротехническими установками в сложных производственных условиях.

К точности установки зазоров δ_0 в одновременно работающих электромагнитах предъявляются определенные требования. При $\delta_1 = \delta_0 + \Delta\delta$ и $\delta_2 = \delta_0 - \Delta\delta$ электромагниты создают силы $P_1 = P_0 + \Delta P$ и $P_2 = P_0 - \Delta P$ длительности которых также неодинаковы.

При последовательном соединении обмоток возбуждения электромагнитов, установленных на одной реактивной массе (как, например, в санном сейсмоисточнике "Енисей-СЭМ"), при $\Delta\delta \neq 0$ к реактивной массе прикладывается паразитный момент, затрудняющий её движение относительно направляющих штырей, что может приводить к уменьшению их срока службы или даже к заклиниванию на них инертной массы [6].

При аналитических исследованиях особенностей динамики работы сейсмоисточника в зависимости от силы $P(t)$, зазора δ_0 , массы якоря, плиты-антенны и реактивной, характеристик грунта-нагрузки и т.д., используются электрические схемы-аналоги, позволяющие получать математическую модель, соответствующую рассматриваемому режиму работы сейсмоисточника, и использовать для ее анализа хорошо разработанные методы исследования электрических цепей. На рис. 3 приведена, для примера, механическая цепь сейсмоисточника, содержащая массу m якоря, реактивную массу m_2 , массу m_3 плиты, силы веса этих масс (P_{g1} , P_{g2} , P_{g3}) и механическое сопротивление Z_m прилегающего к плите грунта-нагрузки. Сила $P(t)$ действует между подвижными полюсами масс m_1 и m_2 , а ее действие приводит к движению массы m_2 со скоростью V_2 . Скорость V_n якоря равна скорости движения плиты-антенны, деформирующей грунт со скоростью V_n ($V_n = V_{an}$).

По первой системе аналогий "сила-напряжение" топологии механической цепи соответствует дуальная ей топология электрической, в ветви которой включены соответствующие электрические аналоги механических элементов: $(m - L)$, $(P(t) - e(t))$, $(P_{g1} - e_{g1})$, $(P_{g2} - e_{g2})$, $(P_{g3} - e_{g3})$, $(Z_n - Z_e)$. При этом скоростям V_2 и V_n соответствуют их аналоги токи i_2 и i_n , а силе $P(t)$, реакции грунта на его деформацию плитой соответствует напряжение U_n на электрическом сопротивлении Z_e .

В Табл. 1 приведены основные технические характеристики изготавливаемых в ОАО "Енисейгеофизика" санных вариантов сейсмоисточников, силовые параметры и конструктивные особенности которых определяются главным образом количеством применяемых электромагнитов с номинальным значением создаваемого усилия $25 \cdot 10^4$ Н.

В последних разработках санных источников (СЭМ-150 и СЭМ-180) применены электромагниты с большим значением силы. На автомобильной транспортной базе разработаны источники КЭМ-4 и КЭМ-2-130, развивающие силу на излучающие плиты до $100 \cdot 10^4$ и $130 \cdot 10^4$ Н.

Для проведения сейсморазведочных работ на акваториях разработан водный вариант сейсмоисточника "Енисей ВЭМ-100К", выполненный в виде катамарана, на поплавки которого действует сила $100 \cdot 10^4$ Н, создаваемая четырьмя электромагнитами (аналог наземного источника "Енисей СЭМ-100").

Наибольшая эффективность работы с источниками «Енисей» достигается при выполнении следующих условий:

- группирование 4-6 невзрывных источников на базе, меньшей размеров неоднородностей ЗМС, не выше базы группирования сейсмоприемников и расстояния между пунктами приема;

- чувствительность канала записи регистрирующей аппаратуры должна позволять регистрировать сигналы вплоть до 0,1 мкВ, сеймостанция должна быть оборудована накопителем – коррелятором на базе современного программного обеспечения;

- при работе в зимний период профиль должен быть подготовлен для работы с невзрывными источниками, обязательна технологическая проминка, накат колеи для санных источников;

- при применении сейсмоприемников, имеющих нелинейную характеристику в полосе частот до 10 Гц целесообразно подавить низкочастотные волны-помехи (частоты до 10 Гц) уже на этапе регистрации, обеспечив тем самым масштабирование амплитуд сейсмозаписей отраженных волн и фона волн-помех в аналого-цифровом преобразователе (АЦП) с минимальной ценой «масштабной линейки».

Амплитудно-частотные характеристики сейсмограмм, получаемых при работе с источниками «Енисей» сопоставимы с характеристиками сейсмограмм, получаемых при работе со взрывами. На уровне временных разрезов данные полученные с применением СЭМ-100 идентичны по глубинности исследований, разрешённости сейсмической записи и корреляции целевых горизонтов материалам с взрывной и вибрационной технологиями (См. обзорную статью В.А. Деткова на стр. 11 этого выпуска журнала).

Как показала практика работ с электромагнитными источниками сила воздействий их излучателей не превышает динамический предел прочности грунтов и плиты излучателей не оставляют заметных следов воздействия на почву.

Выше перечисленные эксплуатационные характеристики и выбор санной транспортной базы для модификаций «Енисей СЭМ» обеспечивают применение и проходимость электромагнитных источников в зимний период на любой площади Крайнего Севера. Источники на шасси автомобиля «УРАЛ» могут применяться как в летний, так и в зимний период в диапазоне климатических условий от южных пустынь и полупустынь до лесотундры.

Следует подчеркнуть экологическую безопасность электромагнитных источников сейсмических колебаний. Структура грунтов, растительность под излучателями практически сохраняется в естественном состоянии. Применение в качестве

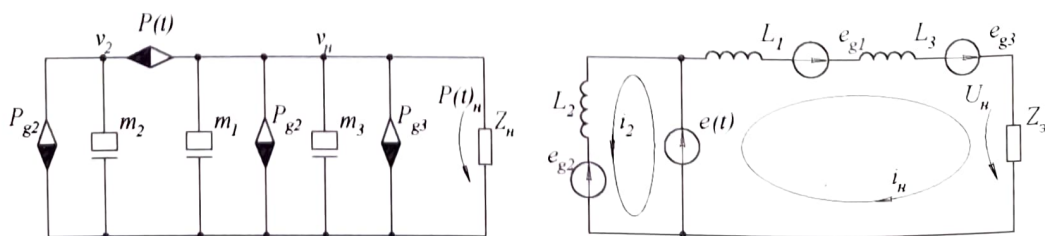


Рис. 3. Механическая цепь источника (а) и ее электрический аналог (б)

Таблица 1. Силовые параметры и конструктивные особенности СЭМ

Наименование показателя	СЭМ-20	СЭМ-50	СЭМ-100
Максимальное значение силы прикладываемой к плите-излучателю, Н	$20 \cdot 10^4$	$50 \cdot 10^4$	$100 \cdot 10^4$
Количество электромагнитов, шт.	1	2	4
Длительность приложения силы к плите - излучателю, с	$\sim 5 \cdot 10^{-3}$	$\sim 5 \cdot 10^{-3}$	$\sim 5 \cdot 10^{-3}$
Активная масса излучателя, кг	490	710	1040
Реактивная масса излучателя, кг	800	1270	2280
Вес сейсмосточника (без транспортного средства)	1600	4600	6640
Напряжение заряда емкостного накопителя, В	850	850	850

источников электроэнергии для зарядного устройства «сухих» экологически чистых аккумуляторов обеспечивает электробезопасность и экологическую чистоту при возбуждении упругих колебаний в пределах водоёмов.

Положительные результаты применения электромагнитных источников упругих колебаний «Енисей СЭМ, КЭМ» получены в разнообразных сейсмогеологических условиях Сибирской платформы, Западно - Сибирской плиты, Астраханского свода, Саратовского Поволжья, Южно-Минусинской межгорной впадины, при работах 3D в Юрубчено-Тохомской зоне.

Использование невзрывных электромагнит-

ных источников ряда «Енисей» позволяет решать весь круг нефтепоисковых задач на региональных, поисковых стадиях исследований, в модификациях съемок 2D, 3D, 3C.

Сейсмосточники «Енисей» являются оригинальной отечественной разработкой и не имеют аналогов за рубежом. Их основными достоинствами являются простота конструкции и эксплуатации, синхронность при работе в группе, стабильность создаваемых на грунт воздействий, надежность в работе, небольшая потребляемая мощность. В настоящее время проводится большой объем опытно-конструкторских работ по совершенствованию управления и контроля за работой источников.

Технологии передачи геолого-разведочных данных из района разведки в центр обработки с использованием мобильных спутниковых терминалов Инмарсат BGAN

На правах рекламы

Я.В. Баранов, ЗАО «МВС ГТ», г. Москва

Уже более года в России введены в эксплуатацию услуги широкополосной мобильной спутниковой связи Инмарсат BGAN на основе технологии 3G, обеспечивающими скорости передачи до 500 кбит/с и многоканальную телефонную связь высокого качества. Фактически технология BGAN позволяет перейти на высокоэффективные методы обработки данных в геологических, геофизических технологиях, бурении и оптимизации добычи.

При скорости передачи и приема данных 400-500 кбит/с терминал BGAN позволяет максимально быстро передать данные каротажа, бурения и

другие из района разведки в центр обработки. Например, файл 50Мбайт передается за 14-16 минут. При этом для повышения эффективности работы целесообразно одновременно принимать данные из центра – скорость приема также будет 400-500 кбит/с, так как радиоканал двусторонний и симметричный на прием-передачу (полный дуплексный). С точки зрения ИТ службы компании спутниковый терминал BGAN можно рассматривать как IP маршрутизатор с набором функций динамического управления услугами и параметров канала ПД. При этом обеспечивается активация нескольких независимых IP каналов с

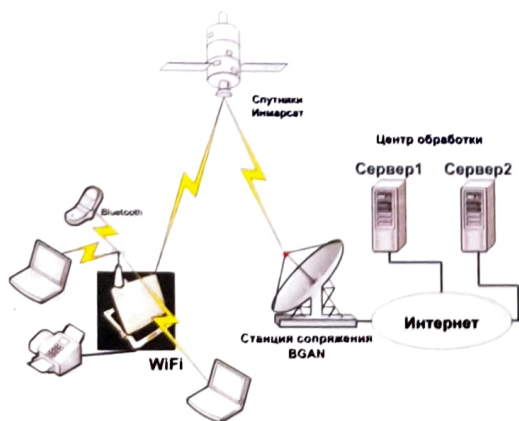


Рис. 1. Организация передачи и приема данных по 2-м независимым IP каналам с параллельной телефонной связью и факсом.

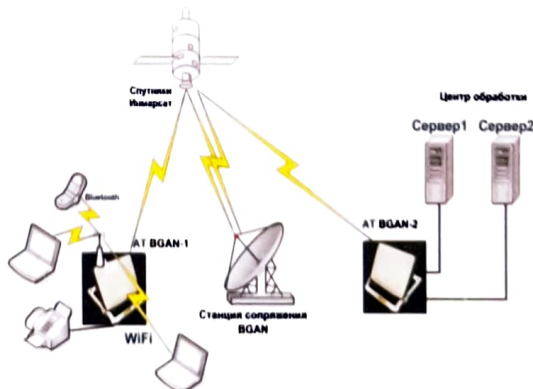


Рис. 2. Организация передачи и приема данных точка-точка без выхода в Интернет или наземный ПД