

не его выклинивания оконтурить две ловушки (рис. 3). В качестве условного газо-водяного контакта была принята изолиния на абсолютной отметке –1750 м, как последняя замыкающая в пределах рассматриваемой территории. Ловушки имеют сложное ограничение – литологическими и тектоническими экранами.

Выводы

1. Для решения задачи прогнозирования распространения литологических разностей при изучении строения терригенного комплекса венда в пределах Мирнинского выступа использована

инверсия сейсмических данных и материалы бурения.

2. Получены новые данные о распределении отложений ботубинского горизонта, свидетельствующие о том, что площадь его развития может быть более значительной, чем это предполагалось ранее. В зоне его выклинивания выделяются перспективные объекты для поисков углеводородов.
3. На основании предложенного подхода при изучении сопредельных территорий также возможно уточнение положения линии выклинивания песчаных отложений ботубинского горизонта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2005. – 428 с.
2. Анциферов А.С., Бакин В.Н., Воробьев В.Н. и др. Непско-Ботубинская антеклизы – новая перспективная область добычи нефти и газа на Востоке СССР. – Новосибирск: Наука, 1986. – 246 с.
3. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской плат-

формы (Непско-Ботубинская, Байкитская антеклизы и Канганская седловина). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 467 с.

4. Russell B., et al. Multiattribute seismic analysis // The Leading Edge. – 1997. – V. 5. – № 9. – P. 1439–1443.
5. Hampson D.P., et al. Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data // Geophysics. – 2001. – V. 66. – № 1. – P. 220–236.

Поступила 20.01.2010 г.

УДК 550.834

ИМПУЛЬСНО-ВИБРАЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

К.А. Кувшинов, Б.Б. Мойзес, П.Я. Крауиньш

Томский политехнический университет
E-mail: peterkrau@tpu.ru

Показана возможность создания наземного мобильного источника сейсмических сигналов для геофизической разведки геологических сред с плавной огибающей амплитуды воздействия. От известных вибрационных источников предлагаемое устройство отличается системой прижима опорной плиты к грунту во время возбуждения сигнала. Замена стационарного пригруза на прижим импульсом силы позволяет повысить динамическое воздействие на грунт при одинаковых массогабаритных показателях.

Ключевые слова:

Сейсмическая разведка, источники сейсмических сигналов, вертикальная поляризация волн, зондирующий сигнал.

Key words:

Seismic prospecting, seismic source, vertical polarization of waves, probing signal.

Вибрационные и ударные механизмы нашли широкое применение в различных сферах жизнедеятельности, одна из них – сейсмическая разведка геологических сред. Сейсморазведка основана на возбуждении и последующей передаче Земле усилия (зондирующего сигнала), в виде колебаний либо в виде отдельных импульсов. Точность определения границ раздела пластов на сейсмическом разрезе зависит от технических характеристик применяемых устройств и от параметров возбуждаемого ими сигнала.

Ударные механизмы, в которых сигнал представляет собой импульс либо серию импульсов, отли-

чаются малым по сравнению с вибрационными весом. Импульсное формирование опорных сигналов характеризуется слабой информативностью, т. е. плохим выделением отдельных импульсов на виброграмме, на которой кроме полезных импульсов могут быть зафиксированы воздействия от сторонних устройств, вырабатывающих подобные импульсы, а постоянное уплотнение грунта в точке возбуждения приводит к плохой стабильности процесса возбуждения.

Вибрационные механизмы имеют хорошую информативность возбуждаемого сигнала и высокую стабильность процесса возбуждения колебаний,

позволяющую производить накопление воздействий, т. е. суммировать многократно возбужденный сигнал.

Типовая схема вибрационного механизма представлена на рис. 1. Инерционный груз – 1 с помощью пружин – 4 осуществляет прижим опорной плиты – 2 к грунту – 3. Вибратор – 6 генерирует колебания инерционной массы – 5 (зондирующий сигнал), которые через опорную плиту – 2 передаются на грунт. Следовательно, чем глубже требуется провести разведку недр, тем больше необходимо передать на грунт силовое воздействие. Это приводит к неизбежному увеличению веса груза – 1 и, соответственно, веса всей машины, что делает невозможным проведение поисковых геофизических работ при помощи данных источников в труднопроходимых регионах Сибири и Дальнего востока. В данном случае разведку проводят импульсными и кодоимпульсными источниками, отличающимися относительно слабой информативностью [1].

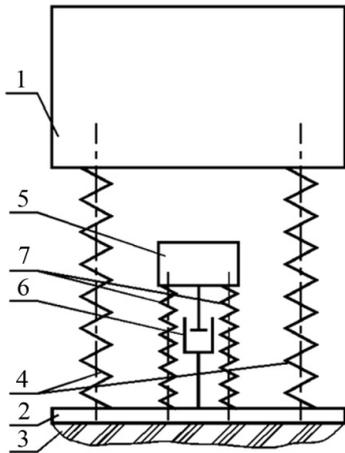


Рис. 1. Схема вибрационного источника: 1) инерционный груз; 2) опорная плита; 3) грунт; 4, 7) пружины; 5) инерционная масса; 6) вибратор

Применение того или иного типа источника ограничивается сейсмологическими условиями той географической зоны, где собираются проводить исследования земных пород, но, благодаря своим достоинствам перед импульсными источниками, наибольшее применение нашли вибрационные механизмы.

В настоящее время в вибрационной сейсморазведке наилучшими характеристиками обладают линейные частотно-модулированные сигналы (рис. 2), которые в общем случае описываются законом

$$x(t) = A(t) \sin\left(\frac{\varepsilon t^2}{2} + \omega_0 t + \varphi_0\right),$$

где $A(t)$ – амплитуда колебаний сигнала; t – текущее время; ω_0 – начальная частота развертки сигнала; φ_0 – начальная фаза; ε – темп нарастания частоты

$$\varepsilon = \frac{\omega_k - \omega_0}{T_0},$$

ω_k, ω_0 – соответственно, конечная и начальная частота развертки сигнала; T_0 – период зондирующего сигнала, $T_0 = t_k - t_0$; t_0, t_k – начальное и конечное время развертки зондирующего сигнала.

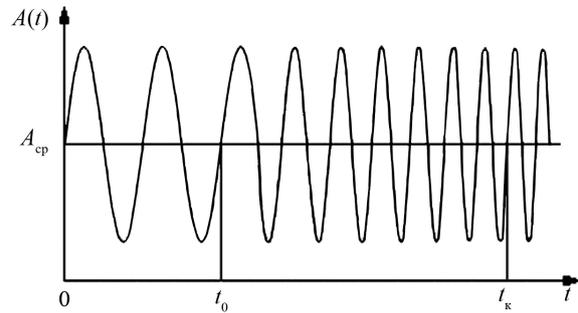


Рис. 2. Линейный частотно-модулированный сигнал

Сигнал, передаваемый грунту и существующий во времени $0...t$, информативен только в период возбуждения T_0 . До времени t_0 частота сигнала ω равна ω_0 , после t_k частота ω равна ω_k .

Посылаемый в землю сигнал, отражаясь и преломляясь на внутренних границах раздела, суммируется с волнами, генерируемыми квазигармоническими силами в среде и образующими сложное поле колебаний, на фоне которого невозможно визуально определить время прихода отраженного от границ раздела зондирующего сигнала. Поэтому для выделения в результирующем суммарном колебании полезной информации применяются корреляционный и частотный способы обработки, обеспечивающие временное сжатие сигналов. Корреляционный способ является наиболее простым и легко реализуемым. Суть данного способа заключается в вычислении корреляционного интеграла $r(\tau)$ и построении взаимокорреляционной функции (ВКФ).

$$r(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_k} x_1(t)x_0(t-\tau)dt, \quad (*)$$

здесь x_1, x_0, T_0, τ – соответственно, принятый отраженный сигнал, исходный сигнал и его период, временной сдвиг между сигналами.

Если предположить, что принятый приемником отраженный сигнал не исказился, то его ВКФ имеет идеальный вид (рис. 3). Такая функция называется автокорреляционной (АКФ) и описывается следующим выражением

$$r(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_k} x_0(t)x_0(t-\tau)dt.$$

АКФ имеет четко выраженный главный максимум – 1 на фоне побочных – 2. Чем меньше по амплитуде побочные максимумы и чем они быстрее затухают, тем сигнал лучше выделяется на фоне помех.

В литературе [1, 2] упоминается, что линейные частотно-модулированные сигналы могут иметь по величине как постоянную, так и переменную во времени амплитуду колебаний силы воздействия $A(t)$. Доказано [2], что интенсивность побочных макси-

мумов и их величина зависит от закона изменения амплитуды сигнала. Наибольшей интенсивностью обладают сигналы с прямоугольной огибающей амплитуды усилия (постоянной амплитудой) (рис. 2), из-за относительной простоты реализации нашедшие широкое применение в сейсморазведке.

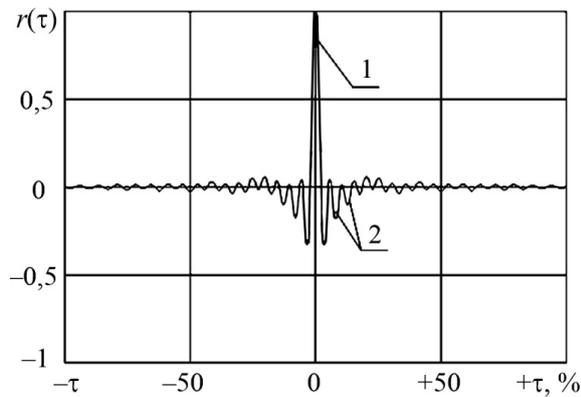


Рис. 3. Максимумы идеальной ВКФ (АКФ) сигнала: 1) главный; 2) побочные

Один из способов ослабления побочных максимумов – применение сигналов с переменной амплитудой – сигналов со сглаженными огибающими (треугольными, трапецеидальными, колоколообразными или синусоидальными [2]).

Таким образом, актуально создать мобильную машину с возможностью передачи на грунт значительных динамических усилий при относительно малом весе и возможности передачи на грунт зондирующего сигнала с плавной огибающей амплитуды усилия.

С целью определения оптимальной формы огибающей, обуславливающей наименьшую интенсивность побочных максимумов, проведены исследования путем компьютерного моделирования сигналов с различными огибающими амплитуды колебаний и имеющие базу

$$B = \Delta\omega T_0 = 14,$$

где $\Delta\omega$ – девиация частоты, 140 Гц; $T_0 = 0,1$ с.

В связи с тем, что в практике вибрационной сейсморазведки применяются нагрузки длительностью 20...30 с в полосе частот 10...250 Гц с требуемым значением базы $B = 100...300$, в нашем случае необходимо применять накопление воздействий, т. е. излучать сигнал не менее n раз

$$n = \frac{B^2}{(\Delta\omega T_0)^2}.$$

Здесь $\Delta\omega$, T_0 – девиация частоты и период излучаемого сигнала.

Принимая $B = 100$, получим необходимое количество накоплений

$$n = \frac{B^2}{(\Delta\omega T_0)^2} = \frac{100^2}{(140 \cdot 0,1)^2} \approx 51.$$

Результаты компьютерного моделирования показали, что наилучшими свойствами обладает сигнал, амплитуда воздействия $A(t)$ которого изменя-

ется по синусоидальному закону. Сигнал имеет самую компактную АКФ (рис. 4) по сравнению с другими сигналами.

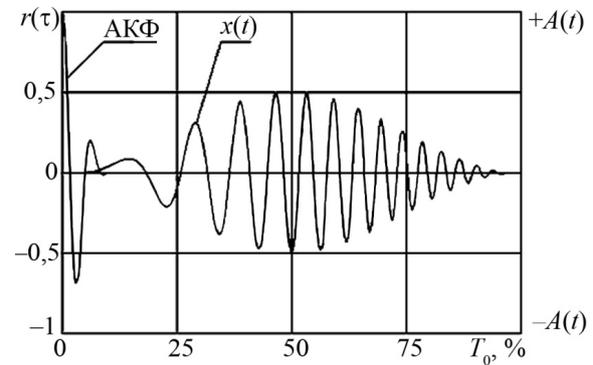


Рис. 4. АКФ сигнала с синусоидальной огибающей амплитуды усилия

На основе сделанного анализа разработан вибромеханизм (рис. 5), в котором прижим опорной плиты осуществляется не инерционным грузом, а импульсом силы (рис. 6) при взаимодействии падающего груза – 2 с амортизирующим гидроцилиндром – 7, установленным на подвижной массе – 4, удерживаемой ограничителями – 5. Упоры – 10 удерживают груз в начальном положении. При подаче от системы управления – 11 сигнала на упоры груз высвобождается.

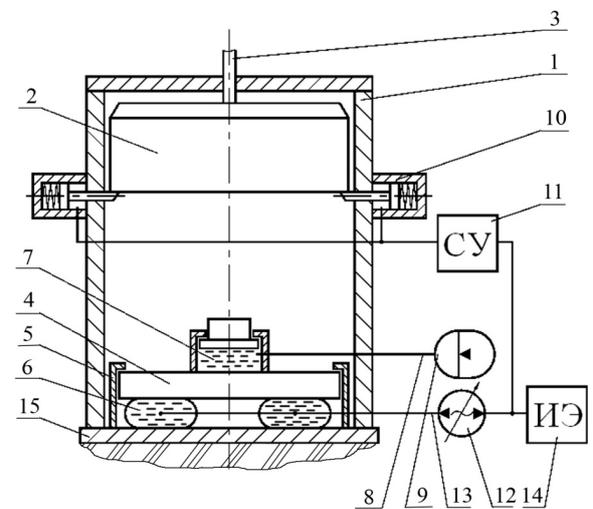


Рис. 5. Источник сейсмических сигналов: 1) корпус вибромеханизма; 2) падающий груз; 3) трос подъема; 4) инерционная масса; 5) ограничители; 6) упругие оболочки (шланги высокого давления); 7) амортизирующий гидроцилиндр; 8, 13) магистраль; 9) гидропневмоаккумулятор; 10) упоры; 11) система управления; 12) генератор колебаний; 14) источник энергии; 15) опорная плита

Перед началом работы корпус – 1 с излучающей плитой – 15 устанавливается на грунт на точку возбуждения. Груз – 2 тросом – 3 поднимается в начальное положение, в котором фиксируется упорами – 10. После подачи управляющего сигнала упоры от системы управления – 11 упоры освобожда-

ют груз – 2. В момент взаимодействия груза – 2 с амортизатором – 7 (в начальный момент возникновения импульса) запускается генератор колебаний – 12, возбуждающий через магистраль – 13 в поджатых упругих оболочках – 6 линейный частотно-модулированный сигнал (рис. 4) (силовое воздействие), которое, благодаря импульсу силы и нелинейности упругих оболочек, существенно возрастает (рис. 7).

Из-за медленной осадки упругих оболочек создаваемое падающим грузом кратковременное усилие изменяется во времени по закону, близкому к синусоидальному.

Возврат груза – 2 (рис. 5) в начальное положение осуществляется амортизатором – 7 энергией гидропневмоаккумулятора – 9. Трос – 3 необходим для подъема груза – 2 в начале работы устройства.

Таким образом, не имея существенного транспортного веса сейсмического источника, можно сформировать силовой импульс и наложить на него прецизионный вибрационный сигнал.

Важным достоинством источника является то, что в промежутке «медленного» импульса динамическое усилие, передаваемое в среду, может существенно превышать усилия, создаваемые статическим весом транспортной машины в известных гидравлических вибрационных источниках. В этом промежутке времени под действием «медленной» составляющей грунт зоны малых скоростей оказывается под излучающей платформой упруго-пластически деформирован значительно сильнее, чем при статической нагрузке в обычных вибрационных источниках. Жесткость этого слоя существенно возрастает, и он пропускает высокочастотную составляющую сигнала лучше. Таким образом, одновременно с существенным снижением веса транспортной машины и сокращением установленной мощности гидропривода, можно повысить информативность зондирующего сигнала за счет динамического увеличения полосы пропускания частот зоной малых скоростей.

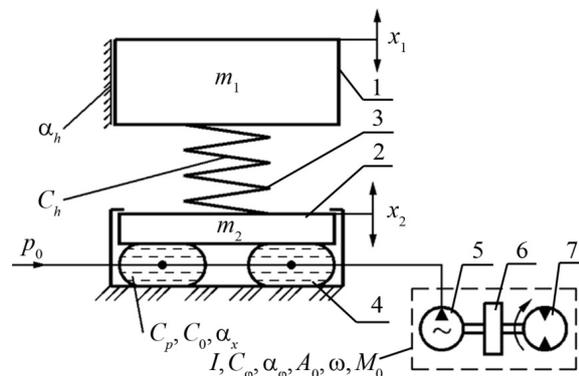


Рис. 6. Расчетная схема эквивалентного вибрационного механизма: 1) груз; 2) промежуточная масса; 3) пружина; 4) упругие оболочки; 5) генератор колебаний; 6) маховик; 7) насос

В момент взаимодействия груза с амортизирующим гидроцилиндром источник сейсмических сигналов (рис. 5) можно заменить эквивалентным вибрационным механизмом (рис. 6).

Динамическая модель вибромеханизма во время действия ударного импульса приведена ниже:

$$\begin{aligned}
 m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \alpha_h \frac{dx_1}{dt} + C_h x_1 + P_{\text{н}} &= 0; \\
 m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \alpha_h \frac{dx_1}{dt} + C_h x_1 + P_{\text{н}} + P &= 0; \\
 m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + \alpha_x \frac{dx_2}{dt} + (C_0 + C_p) x_2 &= \\
 = P_{\text{н}} + C_h x_1 + (C_0 + C_p) X_1 \sin \varphi(t); \\
 m_2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \alpha_{\varphi} \frac{d\varphi}{dt} + C_{\varphi} \varphi &= \\
 = M_0 + \frac{C_p}{2} X_1^2 \sin 2\varphi(t) + C_p x_2 X_1 \cos \varphi(t),
 \end{aligned}$$

где $P_{\text{н}}$ – усилие, создаваемое упавшим грузом, P – силовое воздействие амортизатора на груз, m_1, m_2 – масса, соответственно, груза и подвижной части исполнительного механизма; x_1, x_2 – текущие координаты, соответственно, груза в режиме совместного движения с амортизатором, подвижной массы; C_h – жесткость гидравлической пружины амортизатора, C_0, C_p – собственная и объемная жесткости полостей исполнительного механизма, α_h, α_x – коэффициенты вязких потерь в ударном и вибрационном контурах механизма. В модели также учтены параметры генератора и привода: $I, C_{\varphi}, \alpha_{\varphi}$ – момент инерции, жесткость и потери в контуре привода и X_1, ω – амплитуда на выходе и частота генератора колебаний, M_0 – момент вращения генератора.

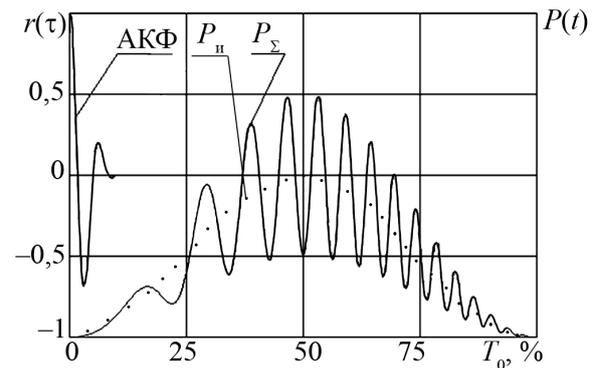


Рис. 7. Комбинированный сигнал ($B=14$), передаваемый на грунт

Компьютерные исследования модели [3] показали возможность возбуждения комбинированного сигнала с суммарным силовым воздействием P_{Σ} (рис. 7), которое формируется из динамического усилия колебания инерционной массы – 4 и импульса силы, возникающего в процессе соударения груза – 1 с гидроцилиндром – 7, и имеет две состав-

включающие: низкочастотную $P_{и}$, создающую динамический прижим опорной плиты к грунту, и высокочастотную – информативную.

Высокочастотная составляющая сигнала с каждым новым периодом колебаний возрастает по амплитуде и достигает максимального значения в середине временного интервала действия ударного импульса. Это связано с нелинейной жесткостной характеристикой C_p упругих оболочек под воздействием деформирующего усилия P_d (рис. 8) [4].

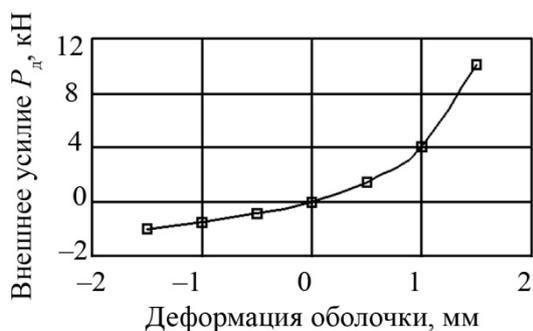


Рис. 8. Характеристика жесткости упругих оболочек

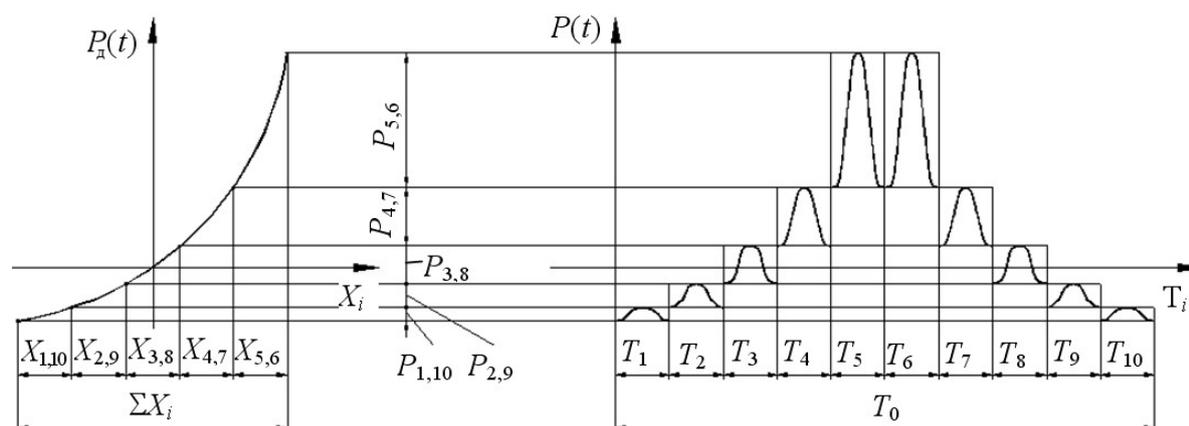


Рис. 9. Нелинейная характеристика жесткости упругих оболочек и создаваемые усилия: $X_i=X_2=...=X_{10}$ – амплитуда на выходе генератора колебаний, P_i – вибрационное усилие на периодах колебаний; T_i – периоды колебаний; T_0 – период зондирующего сигнала

Нелинейность упругих оболочек позволяет на каждом периоде возбуждаемых колебаний при постоянстве амплитуды получать различные по значениям усилия $P(t)$ (рис. 9), тем самым увеличивая нагрузку на грунт и обеспечивая проведение более

глубокой разведки сред. На рис. 9 приведен пример формирования усилий при нулевом темпе развертки частоты (*), при котором $T_1=T_2=...=T_{10}$.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет не только сформировать зондирующий сигнал с синусоидальной огибающей амплитуды усилия, но и повысить динамическое воздействие на грунтовое пространство, что увеличивает дальность прохождения сигнала в грунте. Использование гидроцилиндра-толкателя с гидропневмоаккумулятором позволит уменьшить затраты энергии для возвращения груза в исходное положение и ускорить процесс выработки очередного импульса.

Выводы

Предложена схема построения сейсмического источника на гидравлических оболочках, в котором замена инерционного пригруза «активным» (падающим грузом) в момент возбуждения зондирующего сигнала, позволяет снизить вес всей машины по сравнению с аналогами и создать мобильную машину для труднопроходимых регионов. Благодаря медленной осадке упругих оболочек, в

которых возбуждается линейный частотно-модулированный сигнал, форма огибающей силового воздействия приближается к синусоидальной, обуславливая компактность автокорреляционной функции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнеерсон М.Б., Потапов О.А., Гродзенский В.А. Вибрационная сейсморазведка. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
2. Евчатов Г.П., Михаэлис Ю.В., Юшин В.И. К выбору огибающей вибросейсмического сигнала // Вибрационная сейсморазведка на продольных и поперечных волнах. – Новосибирск: Изд-во СНИИГГиМС, 1975. – Вып. 219. – С. 65–71.
3. Мойзес Б.Б., Крауиньш П.Я. Выбор огибающей зондирующего вибрационного сигнала. // Современная техника и технологии: Труды VI Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспи-

- рантов и молодых ученых. – Томск, ТПУ, 24–28 марта 2000. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С. 203–205.
4. Крауиньш П.Я., Кузьмин В.А. Особенности расчета объемных гидравлических вибраторов с упругими элементами // Гидропривод и системы управления строительных, тяговых и дорожных машин: Межвуз. сб. СибАДИ; НИСИ / под ред. Т.В. Алексеева. – Новосибирск, 1976. – С. 78–83.

Поступила 12.05.2010 г.