



К феноменологической базе разработки новых технологий вибросейсморазведки

С.И. Михеев, И.И. Хараз, В.А. Михайлов, В.П. Лепешкин, А.С. Михеев, ФГУП "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики", г.Саратов

Одним из основных достоинств вибрационных источников является возможность эффективного контроля над процессом возбуждаемых упругих колебаний. Вместе с тем, на практике встречаются труднообъяснимые явления, когда регистрируемые сигналы не отвечают общепринятым теоретическим моделям вибросейсморазведки. Накопление информации по таким явлениям, рассмотрение особенностей их проявления имеет большое значение, так как создает феноменологическую базу разработки принципиально новых технологий. Остановимся далее на описании некоторых интересных с нашей точки зрения результатов экспериментов с вибрационными источниками.

Одна из характерных особенностей полей упругих волн, возбуждаемых вибрационными источниками, состоит в проявлении эффекта вторичных импульсных источников упругих колебаний. Создаваемые ими поля упругих волн зачастую весьма значительны по интенсивности. Опубликованных работ по анализу вторичных импульсных источников в вибросейсморазведке не много [2, 6, 8 и др.], хотя проблема возникновения эффекта импульсного воздействия при выключении вибраторов (прекращение свип-сигнала) заслуживает более пристального внимания. Действительно, возбуждаемые такими воздействиями упругие волны могут действовать либо как помехи, препятствующие выделению целевых отражений, либо учитываться при обработке, тем самым повышая информативность сейсмической записи в целом.

В работе [4] приведены данные опытно-методических исследований, выполненных нами с целью обоснования возможности практического использования в качестве источника упругих колебаний импульса "разгрузки". Экспериментально установлены следующие особенности такого источника:

1. Постоянство момента формирования импульса "разгрузки" при одинаковом времени

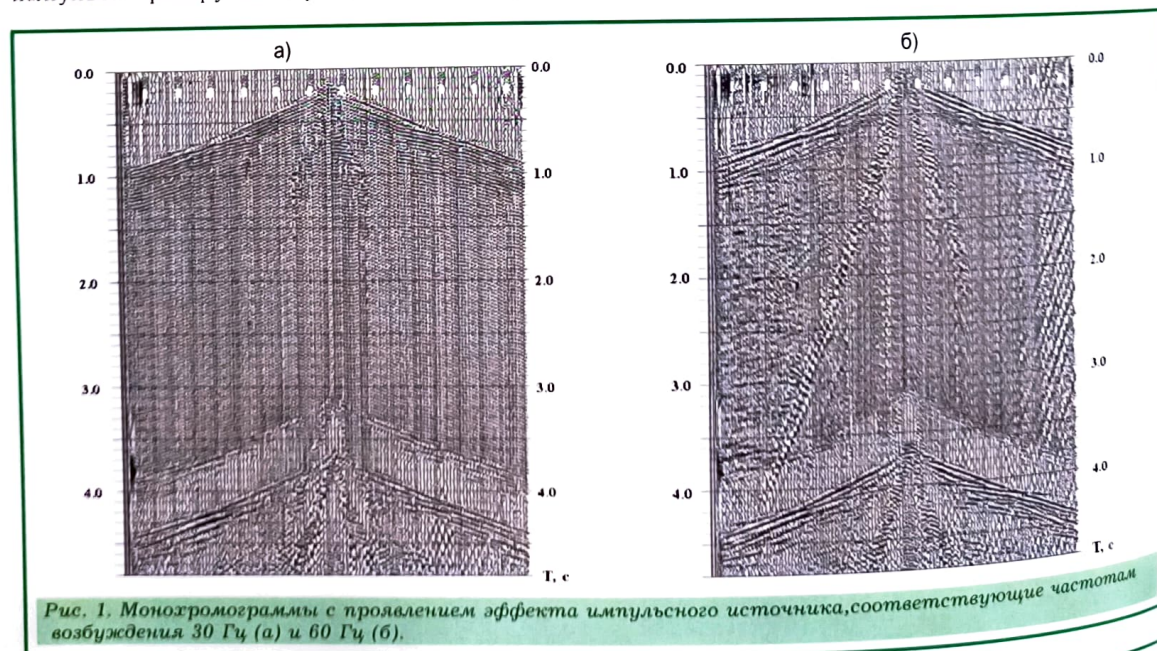
прекращения воздействия на среду.

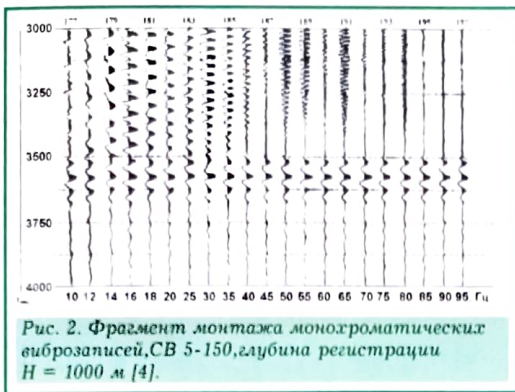
2. Независимость формы и частотного состава импульса "разгрузки" от интенсивности и частоты излучаемых монохроматических сигналов.

3. Схожесть по структуре и интенсивности волновых полей, формирующихся при излучении собственно управляющего сигнала и импульса "разгрузки".

По нашим наблюдениям вторичные импульсные источники начинают более четко и устойчиво проявляться на виброграммах в случае использования монохроматических сигналов, особенно с повышением их частоты. Подтверждением данного утверждения служит рис. 1, где смонтированы монохромограммы, соответствующие частотам возбуждения монохроматических сигналов 30 Гц и 60 Гц. Монохромограммы получены в ходе опытно-методических работ с вибраторами СВ 5-150, выполненных силами Саратовской геофизической экспедиции НВНИИГГ. «Конусование» управляющих монохроматических сигналов, имеющих длительность 3 с, в данном случае не применялось.

Как следует из рис. 1, эффект импульсного возбуждения после выключения вибраторов проявился дважды: сразу после прекращения сеанса излучения и с некоторым временным запаздыванием. По всей видимости, первый из них связан с резким прекращением излучения единой колебательной системой вибратор-поверхность земли. Динамически он выражен слабо. Далее на анализируемых монохромограммах вплоть до времени $t = 3,65$ с отмечается резкое ослабление интенсивности записи. Начиная с указанного времени регистрируется волновое поле, близкое по интенсивности сигналам и формам осей синфазности волновой картины на временах первых вступлений до $t = 0,1-1,1$ с. Основное отличие заключается в отсутствии фона вибрационной монохроматической записи и более четкое проявление первых вступлений и отражен-

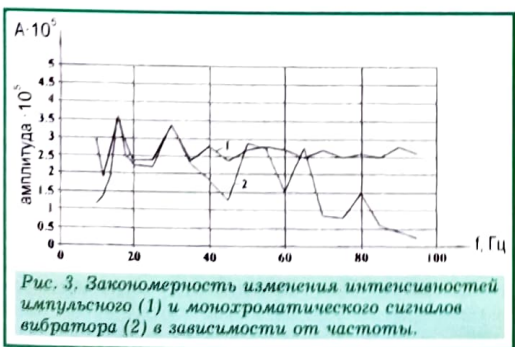




ных волн. При частоте возбуждающего сигнала 60 Гц амплитудная выраженность записи, инициированной импульсным источником (см. рис. 1 Б), более высока по сравнению со случаем монохрома 30 Гц (рис. 1 А).

Проявление эффектов импульсного возбуждения при использовании вибрационных источников отмечалось нами и другими авторами [6] также для случая частотно-модулированных сигналов. При этом наиболее четкие записи зарегистрированы в относительно узком частотном диапазоне задания управляющего сигнала 77-98 Гц.

Импульсные колебания от вторичных источников после прекращения излучения вибраторов зафиксированы не только при наблюдениях на поверхности, но и при сейсмокаротажных исследованиях [4]. На рис. 2 приведен заимствованный из указанной работы монтаж сейсмических трасс, сформированный по данным опытно-методических работ, выполненных Нарофоминским отделением ВНИИГеофизики. При проведении экспериментов вибратором СВ 5-150 излучались монохроматические сигналы с частотами от 10 до 95 Гц. После прекращения сеанса возбуждения сейсмического поля вибраторами на времени 3,5 с при глубинах регистрации 1000 м были зарегистрированы интенсивные импульсные сигналы со слабо меняющимися временами регистрации и формой. Рис. 3 демонстрирует закономерности изменения интенсивностей монохроматических и импульсных сигналов в зависимости от частоты. По мере возрастания последней амплитуда монохроматической составляющей имеет четко выраженную тенденцию к уменьшению (рис. 3, график 2), в то время как амплитуда импульса «разгрузки» сохраняется практически неизменной (см. рис. 3, график 1), совершая небольшие колебания относительно среднего значения. В результате этого на частотах превышающих 35 Гц импульсное воздействие вибратора на среду, как правило, преобладает по амплитуде по сравнению с амплитудой монохроматических записей. Длительность импульса «разгрузки» составляет примерно 0,2с. Визуально по форме записи он



близок к нульfazовому сигналу. При этом согласно данным спектрального анализа основная энергия сосредоточена в полюсе частот 10-25 Гц с максимумом амплитудного спектра в диапазоне 15-20 Гц.

Обсуждение природы проявления импульсных источников после остановки вибраторов носит гипотетический характер. Так, из теории колебаний известно, что под действием вынуждающей силы любая реальная механическая система совершает движение, представляющее собой суперпозицию двух колебаний с частотой вынуждающей силы и с собственной частотой системы. Под механической системой в данном случае выступает система вибратор-грунт. Собственные частоты этой системы расположены в низкочастотной области. Амплитудно-частотная характеристика системы имеет резонансный характер, что обуславливает повышенную интенсивность колебаний на низких частотах 10-20 Гц. Таким образом, частота собственных колебаний системы вибратор-грунт близка к преобладающей частоте импульса «разгрузки». За счет резонансных явлений собственные колебания системы вибратор-грунт наиболее интенсивны в моменты начала и окончания работы вибраторов. В эти моменты времени можно ожидать наиболее интенсивную импульсную запись, которая накладывается на регистрируемое волновое поле.

На первый взгляд моментальная остановка вибраторов при отсутствии конусования управляющего сигнала вполне может объяснить эффекты импульсного возбуждения. Однако экспериментальные свидетельства о том, что эти эффекты фиксируются и в случаях конусования свипов. Соответствующие сведения приведены, например, в работе [6]. Там отмечено повышение интенсивности волн, регистрируемых от импульсного воздействия, по мере увеличения крутизны конуса. Кроме того, принимая во внимание только моментальную остановку вибратора, невозможно объяснить вторичные источники, формирующиеся с большим временным запаздыванием после прекращения сеанса излучения. Например, в конкретных условиях выполненных экспериментов (см. рис. 1) такое запаздывание составляло 0,475-0,5с.

Более полное объяснение природы импульсного возбуждения может базироваться на использовании нелинейных моделей изучаемых сред и введении в рассмотрение нелинейных эффектов. Среди нелинейных эффектов, особое место в плане обсуждаемой проблемы принадлежит постоянной составляющей поля смещений, возникающей в условиях работы вибратора на дневной поверхности в зоне рыхлого грунта. Модель рыхлой среды, дающая объяснение этого эффекта, была предложена в работе [7]. Согласно этой модели модули упругости грунтов имеют различные значения для деформаций растяжения и сжатия, т.е. среда является разномодульной. В сейсмическом волновом поле достаточной интенсивности возникает характерное искажение формы сигнала: амплитуда напряжения сжатия меньше амплитуды напряжения растяжения. В результате проявления данного эффекта при работе вибратора на дневной поверхности имеет место преобладающее движение вверх, что и выражается в возникновении постоянной составляющей - сейсморadiационного напряжения. Впервые непосредственные измерения сейсморadiационных напряжений в грунтах под плитой вибратора и вблизи от него провели Ю.Н. Васильев и др. [1, 2]. Измерения проводились в режиме монохроматического излучения в интервале частот, при котором обеспечивалась наибольшая мощность вибраторов СВ 5-150 и СВ 10-100. В результате этих исследований установлено, что в вибрацион-

МИФЫ И ПАРАДОКСЫ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ





МИФЫ И ПАРАДОКСЫ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

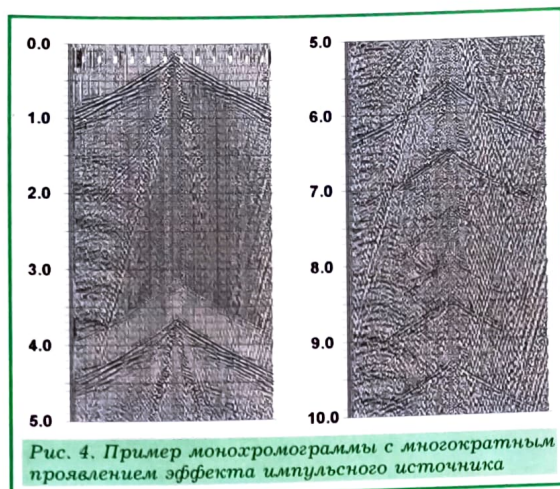


Рис. 4. Пример монохроматической сейсмограммы с многократным проявлением эффекта импульсного источника

ном поле значительной интенсивности (до 600 кПа) под плитой вибратора и вблизи от него возникает сейморadiационное напряжение, достигающее под плитой 200 кПа. В результате его снятия в момент выключения вибратора происходит импульсное воздействие на грунт, которое регистрируется на полевых монохроматических виброграммах в виде импульсных сейсмозаписей, аналогичных записям от приповерхностных источников возбуждения.

В ряде случаев нами отмечалось многократное пульсирующее излучение импульсных колебаний с шагом во времени, равным удвоенной разности между временем выключения вибраторов и первым проявлением вторичного источника. Это явление описано нами в работе [8] и дает основания предположить многократную релаксацию среды в процессе сеанса работы вибраторов. Характерный пример многократного проявления импульсных источников на виброграммах приведен на рис. 4.

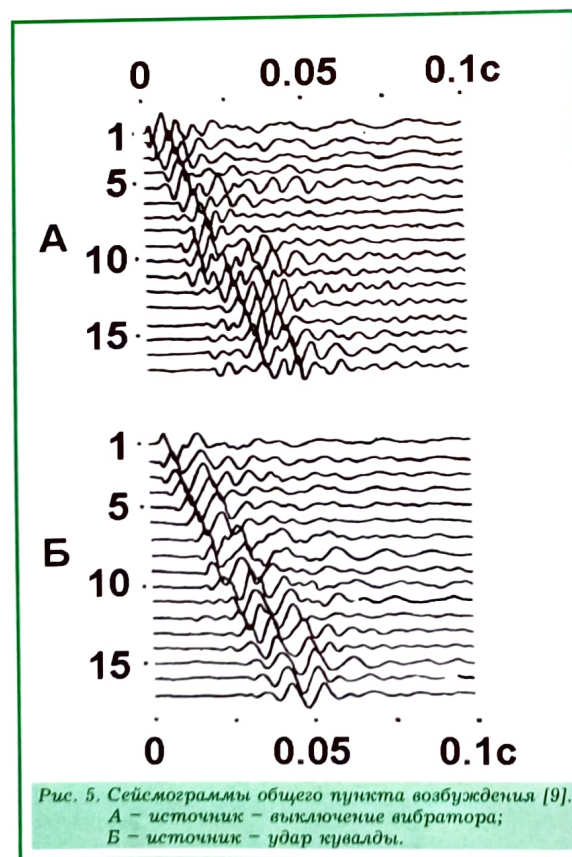


Рис. 5. Сейсмограммы общего пульта возбуждения [9].
А – источник – выключение вибратора;
Б – источник – удар кувалды.

Таким образом, импульс «разгрузки» может быть объяснен либо переходным процессом, возникающим в момент прекращения воздействия вибратора на среду, либо разреза. Вероятно, в практических ситуациях проявляются оба фактора. Учитывая сложность обсуждаемого вопроса, он, по нашему мнению, заслуживает дальнейшего изучения. Тем более, что уже разработаны способы сейсморазведки, основанные на использовании эффектов импульсного возбуждения, для повышения информативности метода [4, 10].

Завершая обсуждение проявления эффектов импульсных источников, отметим, что природа возникновения импульсов «разгрузки» и доказательства возможности их практического использования рассматривается и в инженерной сейсморазведке. Так, в работе В.В.Палагина и др. [9] дается оценка интенсивности вторичных импульсных источников при излучении вибратором монохроматических колебаний в диапазоне частот 400 Гц и выше. Им же приводится убедительный результат по использованию виброакустического источника применительно к задачам инженерной сейсморазведки. На рис. 5 приведены две сейсмограммы: одна получена при выключении вибратора (частота монохроматического сигнала 360 Гц), при этом момент выключения вибратора служил моментом запуска сейсмостанции (рис. 5 А), другая при ударе кувалды по подложке (рис. 5 Б). Сравнение показывает, что обе сейсмограммы имеют характер импульсных, причем при использовании вибратора видимые частоты записи приблизительно в два раза выше, чем при ударном возбуждении упругих колебаний.

Как уже отмечалось, одно из возможных объяснений наблюдения импульсных эффектов в вибросейсморазведке основано на нелинейных моделях сред. Такие модели используются в нелинейной геофизике, объектами изучения которой являются различного рода взаимодействия геофизических и геохимических полей, необратимые явления в геологических средах, нелинейные эффекты. Для виброакустических полей, в частности, одним из наиболее примечательных эффектов является возникновение волн-гармоник [3, 5 и др.]. На настоящий момент накоплен значительный объем экспериментальных материалов, доказывающих значительную интенсивность таких волн и возможность их практического использования. С их учетом уже довольно значительное время связывается существенное повышение эффективности вибросейса. Однако соответствующие исследования пока не вышли из стадии опытно-методических работ. Одна из основных причин сложившейся ситуации, по нашим представлениям, связана с недостаточной изученностью закономерностей формирования волн-гармоник и изменчивости их характеристик в различных сейсмогеологических условиях. Рассмотрим далее некоторые результаты выполненных нами экспериментов, в некоторой мере устраняющие отмеченные сложности.

При производстве опытно-методических работ в качестве источника возбуждения упругих колебаний использовался вибратор СВ-27/150К. Излучались монохроматические и линейно частотно-модулированные сигналы. Регистрация производилась на открытом канале с шагом дискретизации – 2 мс. Коэффициент передачи усилия на грунт изменялся от 0,3 до 0,7. Применялось группирование сейсмоприемников: 16 шт. GS-20DX на базе – 45м. При анализе полученных сейсмозаписей основное внимание уделялось амплитудно-частотным спектрам и спектрограммам, вычисленным в скользящих вдоль трасс окнах.

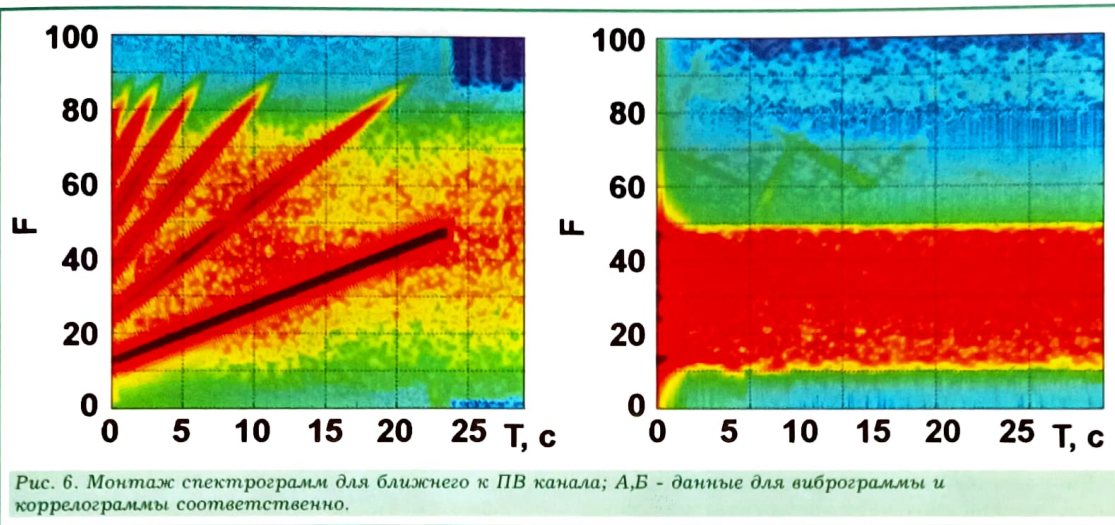


Рис. 6. Монтаж спектрограмм для ближнего к ПВ канала; А,Б - данные для виброграммы и коррелограммы соответственно.

На рис. 6 в качестве примера приведены вычисленные спектрограммы для виброграммы (рис. 6 А) и коррелограммы (рис. 6 Б). Из рассмотрения рис. 6 А следует, что помимо основной частоты использованного линейно частотно-модулированного сигнала 12 - 48 Гц зарегистрированные виброграммы содержат высокоамплитудные волны-гармоники. В общей сложности прослеживается пять гармоник с уменьшающейся с ростом частоты энергией. На спектрограммах коррелограмм проявление гармоник не наблюдается. Таким образом, можно констатировать, что после стандартной процедуры корреляционного преобразования виброграмм высокочастотные составляющие спектра, обусловленные волнами-гармониками, подавляются. Это обстоятельство с очевидностью следует из теории и может рассматриваться как потеря потенциально ценной информации. Поэтому целесообразно выполнять корреляционное преобразование не в поле, а в условиях стационарных вычислительных центров.

Спектральный анализ, выполненный по всем трассам сейсмограммы общего пункта возбуждения при монохроматическом возбуждении, позволил установить некоторые сложные закономерности в характере поведения волн-гармоник в зависимости от удаления канала приемной расстановки от источника возбуждения. Анализ изменения относительного уровня гармоник от удаления, полученного путем нормировки значений амплитуд спектров волн-гармоник к амплитуде основной частоты, излучаемой вибратором, показал следующее:

- по мере удаления приемного канала от источника возбуждения относительный уровень наиболее интенсивных второй и третьей волн-гармоник в целом возрастает. При этом, третья гармоника на ряде удалений, в том числе, на самых дальних каналах, больше по амплитуде чем вторая гармоника;

- отмечается периодичность в поведении амплитуд волн-гармоник, выражающаяся в наличии интервалов удалений с повышенными и пониженными уровнями их энергии;

- наиболее заметный рост относительного уровня волн-гармоник наблюдается с некоторого удаления, которое в условиях различных площадей составляло величину от 500 м до 1250 м.

Установленный эффект увеличения относительного уровня волн-гармоник с удалением от источника возбуждения монохроматических колебаний по всей видимости является следствием нелинейных свойств реальных геологических сред и специфических особенностей распространения в таких средах сейсмических колебаний.

Выявленные закономерности изменения относительного уровня волн-гармоник, по нашему мнению, могут быть использованы в практических целях. Эти волны обладают достаточной интенсивностью, что создает благоприятные предпосылки для получения дополнительной информации об особенностях строения изучаемого геологического разреза.

Завершая статью, вновь отметим, что объем накопленных на настоящий момент экспериментальных материалов виброрейса весьма велик, что нашло отражение в большом количестве публикаций. Однако, в них, как правило, освещаются материалы, не противоречащие известным из практики или теоретическим данным. Связано это со стремлением авторов публикаций обязательно проинтерпретировать все наблюдаемые ими явления или процессы и не акцентировать внимание на оставшихся непонятными результатах экспериментов.

Однако лишь труднообъяснимые или не соответствующие общепринятым представлениям экспериментальные данные создают объективную основу для разработки принципиально новых технологий или для внесения корректив в общепринятые технологии с целью повышения их эффективности.

В этой связи освещение подобных «парадоксов» в научной литературе и привлечение к ним внимания профессионалов вполне оправдано.

Литература

1. Васильев Ю.И., Видмонт Н.А., Гвоздев А.А. и др. Экспериментальное исследование сейсморадиационных сил в мягком грунте // Изв. АН СССР Физика Земли, 1986, №1, 52-56 с.
2. Васильев Ю.И., Видмонт Н.А., Гвоздев А.А. и др. Прямые измерения сейсморадиационного напряжения в мягком грунте // Проблемы нелинейной сейсмологии. - М., Наука, 1987, 149-152 с.
3. Жуков А.П., Шнейерсон М.Б. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки. - М. ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000
4. Методика разведки гетерогенных сред при взаимодействии различных геофизических полей / И.И.Хараз, Д.К.Андрейченко, А.М.Иванчук и др. // Геофизика. - 1999 - №3. - С. 14-21.
5. Михеев С.И., Гестрин С.Г., Живодрова М.В. Теория и перспективы использования ангармонических эффектов в вибрационной сейсморазведке Недра Поволжья и Прикаспия. Вып. 34. - Саратов, 2003. - с. 42 - 45
6. Недашковский И.А., Максимов А.А., Лоцик В.В. Об импульсных эффектах при вибрационной сейсморазведке // Геология и геофизика. - 1996 - Т. 37. - №3 - С. 108-111.
7. Николаев А.В., Павленко О.В., Яковлев А.П. Квазистатические деформации земной поверхности, вызванные вибровоздействием нелинейных свойств земных пород // Изв. РАН Физика Земли. - 1994 - №12 - С. 3-11
8. О структуре упругого поля, возбужденного продолжительными во времени вибрационными сигналами / И.И.Хараз, В.П. Лепешкин // Геофизика. - 2005 - №43 - С. 32-41
9. Палагин В.В., Попов А.Я., Дик П.И. Сейсморазведка малых глубин. - М. Недра, 1989, 210 с.
10. Патент № 2122220 (РФ) Способ сейсмической разведки / В.В. Тихаев, И.И.Хараз, В.А.Михайлов, В.П. Лепешкин, Д.М.Соболев. - Приор. 31.05.1996. - Опубл. 20.11.1998. Бюл. №32

МИФЫ И ПАРАДОКСЫ ВИБРОСЕЙСМОРАЗВЕДКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

