

О целесообразности разработки современного кодоимпульсного сейсмического излучателя и комплекс требований, обеспечивающий его эффективность

Ю.П. Кострыгин, ООО «Екатеринодар Бизнес», г. Краснодар

Особое место в невзрывной сейсморазведке занимает способ, основанный на возбуждении кодоимпульсных последовательностей. По своему физическому содержанию способ занимает промежуточное место между импульсным и вибросейсмическим методами [2]. Так же как и вибросейсмический метод, кодоимпульсный метод отличается повышенной помехоустойчивостью по отношению к некогерентным помехам. Вместе с тем техническая реализация кодоимпульсного возбуждения является значительно более простой. Учитывая относительную простоту конструкции и в связи с этим существенно более низкую себестоимость кодоимпульсных излучателей, кодоимпульсный метод можно рассматривать как наиболее значимую альтернативу вибросейсмическому методу. Такое утверждение тем более актуально в связи с тем, что в настоящее время стоимость серийных сейсмических вибраторов в основном превышает 300 тысяч долларов и поэтому для многих геофизических предприятий необходимость приобретения вибросейсмических излучателей создаёт серьёзные экономические проблемы.

Длительное время в СССР и в дальнейшем в России при проведении сейсморазведочных работ весьма успешно применялся и применяется серийный кодоимпульсный источник ИКИ-10/40, изготовленный в ПО «Потенциал» (Украина) при научном руководстве специалистов Тольяттинского политехнического института (проф. Ивашин В.В. и др.). В настоящее время существует необходимость разработки и изготовления кодоимпульсного источника на современной элементной базе, обеспечивающего более значительные толкающие усилия на грунт, отличающегося более высокой динамической устойчивостью импульсов в развёртке и использующего более широкий класс кодовых функций.

Опросы, проведённые во многих геофизических организациях России, указывают на то, что кодоимпульсный источник будет представлять коммерческий интерес при условии, если геологическая эффективность его применения не будет уступать геологической эффективности наиболее массового в России, современного вибросейсмического излучателя СВ-14/150, разработанного в ЗАО «ГЕОСВИП» и развивающего номинальное динамическое усилие на грунт ≈ 140 кН. При этом стоимость источника не должна превышать 150 – 200 тысяч долларов.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, ранее выполненные в процессе эксплуатации установки ИКИ-10/40, позволяют сформулировать основные технические требования, которые следует учитывать при создании современного кодоимпульсного сейсмического излучателя.

Так, в отличие от «идеальных» однополярных кодоимпульсных последовательностей с постоянной амплитудой единичных импульсов, однополярные последовательности, возбуждаемые реальными сейсмическими излучателями, обладают некоторой амплитудной неидентичностью импульсов в развёртке. Для излучателей, работающих на базе индукционно-динамических двигателей, амплитуда импульсов $A_{имп}$ при $f \geq 5$ Гц определяется степенной функцией

$$A_{имп} = k \cdot f^{-p}, \text{ т.е.}$$

непрерывно уменьшается по мере увеличения частоты следования импульсов f , что обусловлено ограниченностью энергетических возможностей

установок [1, 2]. Для ИКИ-10/40 параметр $p \approx 0,65$. Столь значительная амплитудная неидентичность импульсов в развёртке приводит к заметному искажению формы ФВК. Поэтому некоторые однополярные коды, в «идеальном» случае рассматриваемые как перспективные, при работе с реальными излучателями обеспечивают низкую эффективность исследований. Действительно с увеличением P от 0 до 0,65 статистический эффект кодоимпульсного накопления σ при использовании, например, однополярных кодов с линейным изменением частоты (коды ЛИЧ) уменьшается в 2-3 раза. Более того, при $P=0,32-0,65$ увеличение f_{max} от 20 до 50 Гц для кодов ЛИЧ практически не способствует ослаблению микросейсма [1, 3]. При формировании же двухполярных последовательностей путём поочерёдной отработки положительных и отрицательных импульсов, увеличение параметра P до 0,65 приводит к недопустимо большому растяжению главного максимума ФВК, что делает применение в принципе весьма перспективных для сейсморазведки дополнительных кодов и М-последовательностей нецелесообразным [3, 5].

Выполненные модельные исследования свидетельствуют о том, для современного кодоимпульсного сейсмического излучателя параметр P не должен превышать 0,12, т.е. в полосе частот развёртки от 5 до 35 Гц относительная амплитудная неидентичность импульсов не должна превышать 20% [2, 3].

Важным параметром при проектировании кодоимпульсного излучателя является параметр f_{max} – максимальная частота следования импульсов. Проведённые к настоящему времени модельные и экспериментальные исследования показывают, что при $P=0,12$ и возбуждении относительно высокочастотных импульсов с преобладающей частотой колебаний, равной 35-50 Гц, наиболее перспективные однополярные коды ЛИЧ характеризуются максимальной частотой следования 40-45 Гц [1, 2]. Под перспективными кодами в данном случае понимаются коды, обеспечивающие минимальную амплитуду корреляционного фона и наиболее компактную форму главного максимума корреляционной функции (ФВК).

Таким образом, при проектировании современного кодоимпульсного излучателя следует предусмотреть возможность формирования импульсных последовательностей с максимальной частотой следования не менее 40 Гц.

Весьма значимым параметром любого механического сейсмического источника является номинальное значение толкающего усилия $F_{k, макс}$. С учётом сформировавшегося к настоящему времени рынка вибросейсмических излучателей максимальное динамическое усилие $F_{k, макс}$ для современного кодоимпульсного источника не должно быть менее 160-200 кН. Такие значения динамического усилия обеспечат большую глубину исследований по сравнению с ранее выпускаемым кодоимпульсным излучателем ИКИ-10/40 и позволят иметь дополнительные коммерческие преимущества перед вибросейсмическим источником СВ-14/150.

Очевидно, что спектральные характеристики импульсов, возбуждаемых кодоимпульсными излучателями, не должны быть менее широкополосными по сравнению с аналогичными характеристиками для вибросейсмических источников. В настоящее время сейсмические вибраторы оснащены системами «fors-control», обеспечивающими в

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

полосе 10-150 Гц практически равное усилие на грунт. Однако при проведении сейсморазведочных работ, в основном, применяются датчики скорости смещения и уже поэтому, в результате интегрирования сигнала ускорения вибраторы при использовании ЛЧМ-сигналов формируют относительно низкочастотные колебания (рис. 1). Поэтому, для низкочастотных колебаний, регистрируемых на временах отраженных волн, регистрируемая частота спектра при использовании широкополосных ЛЧМ-сигналов, как правило, не превышает 40-50 Гц для первичных коррелограмм и 60-70 Гц для окончательных временных разверток [2, 6]. Такие спектральные характеристики полезных колебаний во многих случаях снижают эффективность сейсмической разведки и по этой причине не всегда устраивают организации, заказывающие геофизические работы.

Для расширения спектров отраженных волн до 80-90 Гц при проведении вибросейсмических исследований применяются либо нелинейные, либо комбинированные развертки. При этом параметры указанных разверток обычно выбираются таким образом, чтобы для управляющих сигналов вес высокочастотных колебаний в полосе частот развертки возрастал бы в 4-6 раз [2, 4, 8].

В большинстве геологических ситуаций использование нелинейных или комбинированных сигналов способствует заметному повышению эффективности метода. Однако в некоторых условиях 4-х кратная переброска энергии из низкочастотной области в высокочастотную приводит к снижению глубинности исследований. Поэтому выбор типа и параметров вибросейсмических разверток является весьма не простым и важным этапом определения параметров методики.

В кодоимпульсном методе отсутствуют механизмы регуляции огибающей спектра. Здесь спектр возбуждаемых колебаний определяется АЧХ системы «излучатель-грунт» и особенностями геологической среды. Поэтому очевидно, что для кодоимпульсного излучателя АЧХ должна определяться на основании некоторого компромисса между желанием расширить спектр отражений и желанием обеспечить достаточно высокое отношение сигнал/помеха. Компромисс при задании АЧХ системы излучатель-грунт для современного кодоимпульсного источника может заключаться в построении излучателя с АЧХ, обеспечивающей промежуточную динамику между динамикой возбуждаемых вибросейсмических сигналов в режиме ЛЧМ-сигналов и в режиме комбинированных или нелинейных разверток с 4-х кратным увеличением веса гармоник в полосе частот развертки.

При кодоимпульсном возбуждении сейсмических колебаний достаточно важным является вопрос о выборе кодов. С учётом опыта проведения сейсмических наблюдений с использованием кодоимпульсных излучателей значительный интерес представляют последовательности с линейным изменением частоты следования импульсов (коды ЛИЧ) [1, 2, 7]. Временное положение n -го импульса в развертке ЛИЧ определяется из выражения

$$t_n = (T/\Delta F) \sqrt{(F_0^2 + 2n\Delta F(T-F_0))} \quad (1)$$

где t_n – временное положение n -го импульса в развертке ЛИЧ (начальному импульсу присвоен номер «0»), T – длительность развертки, F_0 – начальная частота в развертке, ΔF – ширина частотного диапазона развертки.

В соответствии с выражением (1) при формировании импульсной последовательности ЛИЧ система управления должна обеспечить возможность задания параметров T , F_0 и ΔF . При этом следует предусмотреть возможность задания T в диапазоне от 1с до 30с с дискретностью 1с; задания F_0 от 5 Гц до 20 Гц с дискретностью 1 Гц и

задания ΔF от 5 Гц до 40 Гц с дискретностью 1 Гц.

Выполненные к настоящему времени теоретические и экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что существует необходимость в пусковых сигналах ЛИЧ, перспективных для

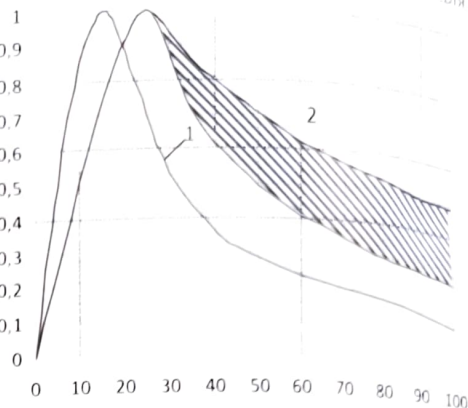


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики колебательной системы излучатель-грунт вибратора MERTZ-18P/12A90 для скорости смещения грунта (1) и приемлемые варианты АЧХ современного кодоимпульсного излучателя для скорости смещения грунта (2)

использования в сейсмической разведке. Вместе с тем, даже наиболее удачные коды ЛИЧ характеризуются, как правило, локальными областями корреляционных функций протяженностью 0,5-1 с с аномально высокой интенсивностью корреляционного фона. Это обусловило необходимость поиска и других однополярных кодов с более равномерным распределением помех корреляционного преобразования. К таким кодам относятся, например, коды с линейно изменяющимся периодом следования импульсов (коды ЛИП). Последовательности ЛИП отличаются от последовательностей ЛИЧ более равномерным распределением помех преобразования и поэтому в ряде случаев обеспечивают более высокую эффективность сейсмических исследований [2].

Временное положение n -го импульса в развертке ЛИП определяется из выражения

$$t_n = nT_0 - n(n-1)\Delta T/2 \quad (2)$$

где t_n – относительное запаздывание n -го воздействия (начальному импульсу присвоен номер «0», конечному $N-1$); T_0 – начальный период следования импульсов; $|\Delta T|$ – абсолютное значение приращения периода следования импульса.

В соответствии с выражением (2) при формировании импульсной последовательности ЛИП система управления должна обеспечить возможность задания параметров T_0 , ΔT и N , где N – количество импульсов в развертке. При этом должна существовать возможность задания T в диапазоне от 200 мс до 50 мс; N от 1 до 500 и T_0 от 0,1 мс до 2 мс с дискретностью 0,1 мс.

Наиболее перспективные однополярные кодовые послышки характеризуются динамическим диапазоном корреляционного преобразования $D = 30-40$ дБ, что на 20-25 дБ меньше динамического диапазона коррелограмм в вибросейсмическом методе. Значительно повысить динамический диапазон преобразования однополярных кодоимпульсных сигналов и тем самым повысить эффективность кодоимпульсного метода, использующего однополярные последовательности, можно путем возбуждения на каждом пикете нескольких разверток с различными параметрами. После вычисления пунктов записи, соответствующие одноименным пунктам

возбуждения, суммируются между собой. Такая модификация способа технически достаточно легко реализуется, позволяя улучшить форму главного максимума ФВК и уменьшить мешающее влияние корреляционного фона на 10-25 дБ по сравнению с обычными однопольярными последовательностями ЛИЧ [2, 5]. Рассматриваемый вариант кодоимпульсного накопления формально напоминает способ комбинированных виброрейсмических развёрток [2, 8]. Таким образом, весьма целесообразно, чтобы система управления современного кодоимпульсного излучателя при формировании однопольярных развёрток позволяла максимально технологично возбуждать и регистрировать колебания на каждом пикете развёртки с различными параметрами и осуществлять суммирование коррелограмм, соответствующих этим развёрткам.

4. Последовательности, соответствующей временному закону следования импульсов с отрицательной полярностью для второй из дополнительных разветок. Зарегистрированная виброграмма подвергается при этом фазовой инверсии.

Очевидно, что система управления современного кодоимпульсного излучателя одностороннего действия должна обеспечивать возможность использования двухполярных дополнительных кодов. Это позволит при необходимости полностью исключать помехи преобразования на коррелограммах.

Ниже приведены дополнительные последовательности с числом импульсов $N=16, 32, 64, 128$, и 256 , которые могут быть использованы при создании системы управления современного кодоимпульсного излучателя

Дополнительные последовательности при N=16:

Дополнительные последовательности при N=32

Дополнительные последовательности при N=64

Дополнительные последовательности при N=128

Дополнительные последовательности при N=256

Существенно уменьшить интенсивность корреляционного фона при кодоимпульсном накоплении можно путём использования двухполярных импульсных последовательностей. Наибольший интерес для сейсморазведки представляют двухполярные дополнительные последовательности, при использовании которых корреляционный фон практически обнуляется [2, 3].

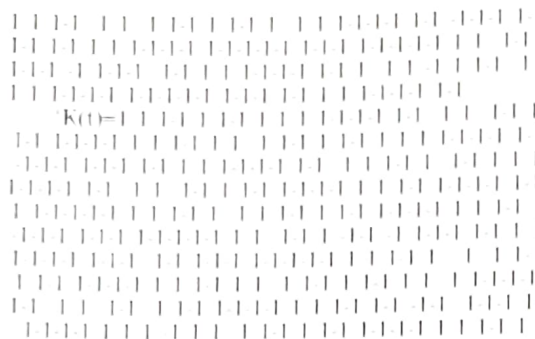
$$U_0(\tau) + U_0(\tau) = \begin{cases} 2 & \text{при } \tau=0, \\ 0 & \text{при } \tau=\pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1), \end{cases} \quad (3)$$

где $U_{\alpha}(t)$ и ${}^*U_{\alpha}(t)$ - нормированные ФАК функций $K(t)$ и ${}^*K(t)$.

Как уже отмечалось, дополнительные последовательности относятся к классу так называемых двухполярных последовательностей. Вместе с тем используемые в сейсморазведке импульсные излучатели являются излучателями одностороннего действия. Украинскими геофизиками был предложен весьма оригинальный способ, позволяющий формировать двухполярные последовательности излучателями одностороннего действия [9]. В предложенном способе разнополярную последовательность импульсов реализуют односторонними воздействиями за два сеанса. Сначала возбуждается развёртка, соответствующая временному закону следования импульсов с положительной полярностью, затем развёртка, соответствующая закону следования импульсов с отрицательной полярностью. Вычитая вторую запись из первой, получают аналог виброграммы, которая была регистрировалась при использовании кодоимпульсных излучателей двухстороннего действия силы.

1. Последовательности, соответствующей временному закону следования импульсов с положительной полярностью для первой из дополнительных развѐрок.

3. Последовательности, соответствующей временному закону следования импульсов с



Основные требования, предъявляемые к современному кодонимпульсному излучателю можно сформулировать следующим образом:

— в полосе частот развёртки от 5 до 35 Гц относительная амплитудная неидентичность импульсов не должна превышать 20%;

— максимальная частота следования импульсов в развёртке должна быть равна 40 Гц;

— максимальное динамическое усилие $F_{\text{д. max}}$ для современного кодонимпульсного источника не должно быть менее 160-200 кН;

— АЧХ системы излучатель-грунт для современного кодонимпульсного источника должна обеспечивать промежуточную динамику колебаний между динамикой возбуждаемых вибросейсмических сигналов в режиме ЛЧМ-сигналов и в режиме комбинированных или нелинейных развёрток с 4-х кратным увеличением веса гармоник в полосе частот развёртки.

Система управления кодонимпульсного излучателя одностороннего действия должна обеспечивать возможность возбуждения импульсных последовательностей ЛИЧ, ЛИП, возмож-

ность формирования двухполярных последовательностей, а также возможность последовательное возбуждение импульсных однополярных разверток с различными параметрами.

При проведении работ должен быть обеспечен непрерывный контроль пикового амплитудного сигнала, а также контроль фазовой идентичности возбуждаемых импульсов и опорного сигнала.

Литература

- 1 Кострыгин Ю.П., 1988. Выбор параметров однополярных кодов при кодонимпульсном накоплении сейсмических сигналов. Исследования колебаний М. Геол. Фонд РСФСР 55-64.
- 2 Кострыгин Ю.П., 2002. Сейсморазведка на сложных сигналах. Тверь, Издательство ГЕРС 416 с.
- 3 Кострыгин Ю.П., 1991. Эффективность двухполярных импульсных последовательностей при кодонимпульсном возбуждении сейсмических колебаний. Разведочная геофизика. М. Недра 112, 15-21.
- 4 Кострыгин Ю.П., Барулин Д.А., 2004. О целесообразности применения комбинированных сигналов в современной вибросейсмической разведке. Приборы и системы разведочной геофизики. № 03/09, 36-38.
- 5 Кострыгин Ю.П., Кириллов В.М., 1990. Способ кодонимпульсного накопления сейсмических колебаний. Геофизическая аппаратура. М. Недра, 93, 34-39.
- 6 Кострыгин Ю.П., Кулагин С.И., 1999. Современные подходы к выбору частотного диапазона вибросейсмических разверток. Геофизический вестник, 9, 3-8.
- 7 Кострыгин Ю.П., Молоканов Г.И., 1980. Модельные исследования формы сейсмического сигнала при кодонимпульсном возбуждении. Разведочная геофизика. М. Недра, 89, 38-47.
- 8 Кострыгин Ю.П., Школьников А.Л., 1989. Исследование возможности повышения разрешающей способности вибросейсмического метода путём применения комбинированных разверток. Прикладная геофизика. М. Недра, 120, 63-73.
- 9 Роман В.И., Шпортюк Г.А., Михайличенко О.Г., Королук П.А., 1986. Перспективы применения дополнительных последовательностей импульсов в невзрывных методах сейсморазведки. ГСЗ и сейсмология. Современные геодинамические процессы и их изучение в связи с проблемой прогноза землетрясений. Киев, Наукова думка, 22-26.



World Leader in Magnetotellurics PHOENIX GEOPHYSICS

- Многофункциональная и специализированная электроразведочная аппаратура для всех наземных ЕМ методов. Высокоточная GPS синхронизация всех приборов.
- Датчики, приёмники, генераторы, мониторинговые системы, вспомогательное оборудование.
- Полный комплект аппаратно-технических средств и программного обеспечения для выполнения полевых измерений, обработки и интерпретации. Русифицированная документация. Сдача под ключ на объекте Заказчика.
- Централизованное обучение обслуживающего персонала и курсы повышения квалификации в России. Гарантийное сервисное обслуживание в течение трех лет.



Toronto

Системы в полном комплекте для поисков, разведки, мониторинга и научных исследований

Тел: +1 416 491-7340 Факс: +1 416 491-7378 www.phoenix-geophysics.com info@phoenix-geophysics.com