

На основании модельных исследований обсуждается возможность повышения эффективности применения в сейсморазведке однополярных кодоимпульсных сигналов путём огибания кодовых функций и применения комбинированных кодоимпульсных сигналов. В результате совместного применения для наиболее эффективных кодоимпульсных сигналов ЛИЧ ($F_{\max} = 80$ Гц) скосов и комбинированных разверток, состоящих из четырех сегментов, динамический диапазон корреляционного преобразования при кодоимпульсном накоплении во временном окне $\tau = 0,5-4,0$ с достигает в среднем 58 дБ при $f_{\text{вид}} = 55$ Гц и 47 дБ при $f_{\text{вид}} = 35$ Гц. Для последовательностей ЛИП аналогичные значения при использовании комбинированных сигналов, состоящих из четырёх сегментов, составляют 58 и 54 дБ, а в случае восьми сегментов - 60 и 57 дБ, соответственно.

Рассматривается также влияние амплитудной неидентичности импульсов в развертках на эффективность кодоимпульсного метода сейсмической разведки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОДОИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА СЕЙСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

Кострыгин Ю.П., Колесников Д.А., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск

Часть 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ФОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОДНОПОЛЯРНЫХ КОДОВ ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДНОЙ НЕИДЕНТИЧНОСТИ ИМПУЛЬСОВ В РАЗВЕРТКАХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА

Исследование методических возможностей ослабления корреляционного фона при кодоимпульсном накоплении сейсмических колебаний с использованием однополярных кодов; влияние амплитудной неидентичности импульсов

Как мы уже отмечали в первой части данной работы, при правильном выборе параметров однополярных разверток ЛИЧ и ЛИП разрешающая способность кодоимпульсного метода не уступает разрешающей способности вибросейсмического метода. Вместе с тем, даже наиболее эффективные последовательности ЛИЧ и ЛИП характеризуются во временном интервале

$\tau = 0,5 \div 4$ с средними значениями динамического диапазона корреляционного преобразования, равными $45 \div 49$ дБ для последовательностей ЛИЧ и $48 \div 52$ дБ для последователь-

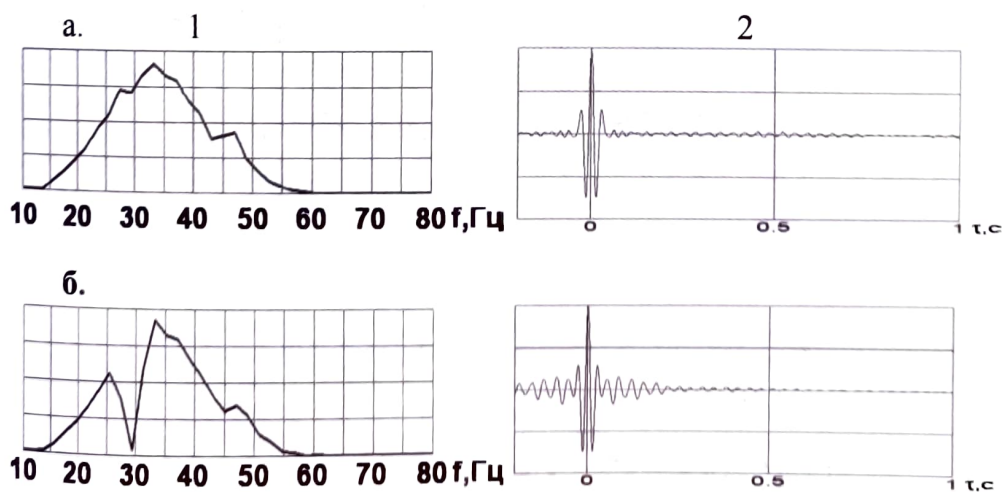


Рис. 1. Амплитудные спектры главных максимумов ФВК (1) и главные максимумы ФВК (2), рассчитанные для последовательности ЛИП без применения скосов и при конусности $t_{\text{ск}} = 2$ с ($T = 20$ с, максимальная частота развертки $F_{\max} = 30$ Гц, видимая частота единичного импульса $f_{\text{вид}} = 35$ Гц, количество импульсов в развертке $N=401$)
а – без скосов; б – использован скос, $t_{\text{ск}} = 2$ с

ностей ЛИП, что существенно меньше динамического диапазона преобразования вибросейсмических ЛЧМ-сигналов. Такие особенности однополярных кодоимпульсных сигналов могут приводить к снижению эффективности кодоимпульсного метода по сравнению с эффективностью вибросейсмического метода в условиях, характеризующихся повышенным динамическим диапазоном сейсмических записей.

В вибросейсмической разведке уменьшение интенсивности помех корреляционного преобразования достигается, как известно, путём применения управляющих сигналов с плавно возрастающими в начале и убывающими в конце развёртки амплитудами. Интервал времени изменения амплитудных значений сигнала в краевых частях развёртки называется конусностью или временем скоса $t_{ск}$. Оценим возможности ослабления корреляционного фона при кодоимпульсном накоплении колебаний путём задания конусности по краям функции кода последовательностей. Трапецеидальное (линейное) огибание краевых частей функции кода можно задать следующим образом:

$$A_{ck}(t) = \begin{cases} (A_0 / t_{ck}) \cdot t, & 0 \leq t \leq t_{ck} \\ A_0 - [t - (T - t_{ck})] A_0 / t_{ck}, & T - t_{ck} \leq t \leq T \end{cases}, \quad (1)$$

где A_0 – амплитуда кодоимпульсного сигнала за пределами скосов, T – длительность развёртки.

На рис.1 сопоставлены спектры ФВК и главные максимумы ФВК кодоимпульсных сигналов ЛИП в случае использования скосов (б) и без использования скосов (а). Из рисунка можно видеть, что для наиболее эффективных кодов ЛИП ($F_{max} = 30 \div 40$ Гц) огибание краевых частей импульсных последовательностей приводит лишь к ухудшению качества коррелограмм.

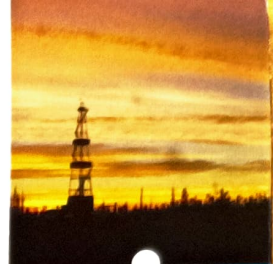
Действительно, вследствие огибания функции кода ЛИП в спектре главного максимума ФВК последовательности возникает достаточно глубокий провал, обуславливающий в свою очередь существенное увеличение эффективной длительности корреляционного импульса. Физически указанное обстоятельство связано с тем, что в данном случае часть спектра, расположенная левее 30 Гц, формируется основными гармониками функции кода, в то время как фор-

мирование более высокочастотной части спектра, соответствующей интервалу 30-60 Гц, обязано вторым гармоникам функции кода. Таким образом, диапазон частот, соответствующий правому скосу, расположен внутри полосы частот спектра ФВК, что и обуславливает в данном случае появление провала в области 30 Гц.

В отличие от эффективных кодов ЛИП ($F_{max} = 30 \div 40$ Гц), огибание эффективных кодоимпульсных последовательностей ЛИЧ ($F_{max} = 80$ Гц, $T = 20-30$ с) позволяет несколько ослабить интенсивность корреляционного фона. При параметрах скоса, равных 10% от длительности развёртки, корреляционный фон для кодоимпульсных сигналов ЛИЧ уменьшается на 3 дБ. Т.е. эффективность применения скосов для кодоимпульсных последовательностей ЛИЧ существенно уступает эффективности применения скосов для вибросейсмических развёрток [2]. Поэтому огибание кодоимпульсных сигналов ЛИЧ целесообразно осуществлять исключительно в комплексе с другими методическими приёмами, позволяющими дополнительно уменьшить уровень корреляционного фона.

К таким методическим приёмам в первую очередь относится способ комбинированных сигналов, предполагающий возбуждение на каждом пикете нескольких кодоимпульсных развёрток ЛИЧ с различными параметрами, и суммирование коррелограмм, соответствующих одноимённым пунктам возбуждения. [2]. Указанный способ является аналогом способа комбинированных вибросейсмических сигналов, легко реализуется при проведении полевых сейсморазведочных работ и позволяет дополнительно уменьшить влияние корреляционного фона.

Оценка эффективности применения комбинированных кодоимпульсных сигналов была выполнена с использованием комбинированных сигналов ЛИЧ, состоящих из 4-х и 8 сегментов. Сегменты, входящие в сигнал, отличались значениями минимальной частоты развёртки F_{min} . При этом дискретность изменения F_{min} составляла 1 Гц и 2 Гц. Остальные параметры развёрток, входящих в комбинированные сигналы, оставались без изменения.



$$T=20\text{с}, F_{\text{max}}=80\text{Гц}; t_{\text{ск}}=0,1T.$$

Результаты выполненного моделирования показывают, что по сравнению с одиночными последовательностями ЛИЧ применение комбинированных развёрток, состоящих из четырёх сегментов, при дискретности изменения F_{min} , равной 2 Гц, позволяет ослабить корреляционный фон на 7-12 дБ при $\tau = 1,5 - 5,0$ с. Дальнейшее увеличение числа сегментов в комбинированном сигнале до восьми не способствует снижению уровня помех преобразования.

В принципе комбинированные развёртки можно формировать путём изменения длительности отдельных сегментов, либо путём одновременного изменения длительности и минимальной частоты сегментов. На основании моделирования было показано, что комбинированные кодоимпульсные сигналы ЛИЧ, состоящие из четырёх - восьми сегментов с различными значениями T , не обеспечивают повышение качества коррелограмм по сравнению с комбинированными развёртками при дискретности изменения F_{min} , равной 2 Гц. Более того, при использовании таких развёрток наблюдается уменьшение динамического диапазона корреляционного преобразования

в интервале $\tau = 2,5 - 5,0$ с, что не позволяет рекомендовать их к практическому применению.

Была сделана также оценка целесообразности применения комбинированных кодоимпульсных сигналов ЛИЧ, в которых одновременно изменялись бы значения F_{min} и T . По результатам моделирования было показано, что использование комбинированных кодоимпульсных сигналов ЛИЧ, в которых одновременно изменялись бы параметры F_{min} и T , в основном не обеспечивает дополнительное увеличение динамического диапазона корреляционного преобразования по сравнению с комбинированными сигналами, состоящими из сегментов, в которых изменяются лишь значения параметра F_{min} . Вместе с тем, применение таких комбинированных сигналов требует некоторого усложнения технологии регистрации колебаний и поэтому является не целесообразным.

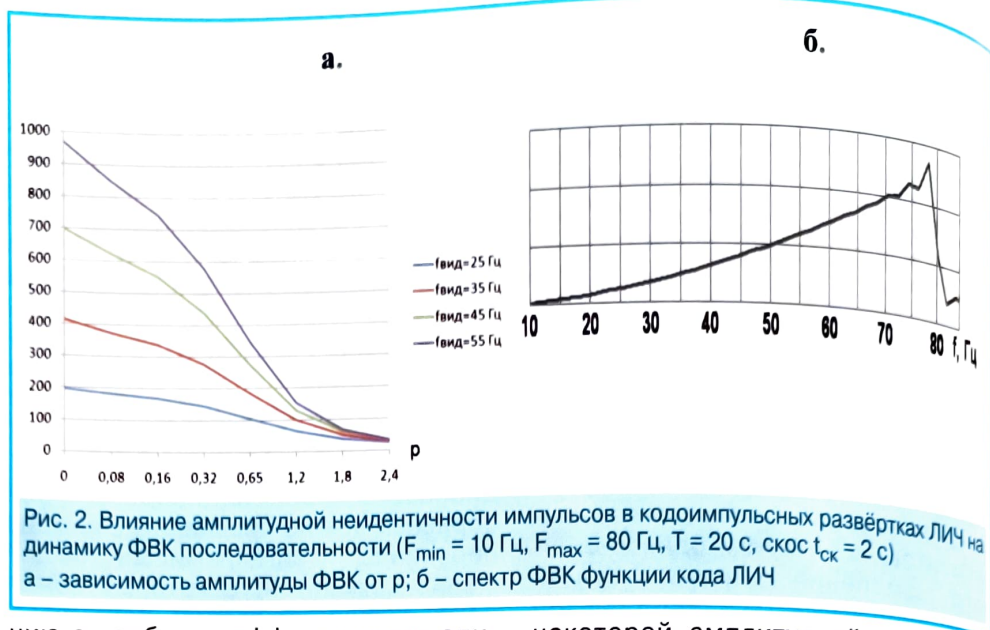
Заметное повышение динамического диапазона корреляционного преобразования наблюдается для комбинированных развёрток, формируемых с использованием последовательностей ЛИП различной длительности (см. таблицу 1). По сравне-

Таблица 1

Значения динамического диапазона преобразования в децибеллах на временах, кратных 0,5 с для одиночных и комбинированных кодоимпульсных сигналов ЛИП

$$(F_{\text{max}}=30\text{ Гц}; t_{\text{ск}}=0)$$

$f_{\text{вид}}$	Параметры развёрток	0,5 с	1,0 с	1,5 с	2,0 с	2,5 с	3,0 с	3,5 с	4,0 с	4,5 с	5,0 с
35 Гц	Одиночная развёртка, $T = 20$ с	35,76	45,13	46,04	49,08	50,51	51,53	52,05	51,88	53,82	54,39
	Комбинированная развёртка: $T_{1-4} = 20$ с, 21 с, 22 с, 23 с.	39,12	48,60	55,48	55,97	57,25	56,16	58,14	59,74	58,98	60,70
	Комбинированная развёртка: $T_{1-8} = 20$ с, 21 с, 22 с, 23 с, 24 с, 25 с, 26 с, 27 с.	42,34	53,96	58,83	58,45	59,79	59,52	61,29	61,59	60,81	62,98
55 Гц	Одиночная развёртка, $T = 20$ с	42,02	49,98	53,00	53,63	52,52	55,78	53,81	54,33	55,33	56,64
	Комбинированная развёртка T_{1-4} $T = 20$ с, 21 с, 22 с, 23 с.	47,67	55,72	59,16	60,27	59,86	58,64	60,53	60,22	60,14	56,78
	Комбинированная развёртка: $T_{1-8} = 20$ с, 21 с, 22 с, 23 с, 24 с, 25 с, 26 с, 27 с.	51,23	59,76	61,33	62,48	62,28	62,58	61,54	56,62	51,38	47,79



нию с наиболее эффективными оди-
ночными последовательностями ЛИП
($F_{\max} = 30$ Гц) комбинированные раз-
вёртки, состоящие из четырёх сег-
ментов различной длительности,
обеспечивают во временном
интервале корреляционной
функции $\tau = 0,5 - 4,0$ с ослабление
корреляционного фона в среднем на
6 дБ, а комбинированные развёртки,
состоящие из восьми сегментов в
среднем на 8 – 9 дБ в зависимости от
значения $f_{\text{вид}}$. При этом среднее
значение динамического диапазона
преобразования наиболее эффектив-
ных последовательностей ЛИП в
интервале $\tau = 0,5 - 4,0$ с достигает в
случае использования комбиниро-
ванных сигналов, состоящих из четы-
рёх сегментов, 54 дБ для значений
 $f_{\text{вид}} = 35$ Гц и 58 дБ для $f_{\text{вид}} = 55$ Гц. При
использовании же комбинированных
сигналов, состоящих из восьми раз-
вёрток ЛИП различной длительности,
аналогичные средние значения дина-
мического диапазона преобразова-
ния увеличиваются соответственно
до 57 дБ и 60 дБ, т.е. приближаются к
динамическому диапазону вибро-
сейсмических ЛЧМ-сигналов.

Оценка влияния амплитудной неидентичности импульсов в раз- вёртках на эффективность кодо- импульсного накопления сейс- мических колебаний

В отличие от «идеальных» кодоим-
пульсных сигналов, характеризую-
щихся постоянной амплитудой еди-
ничных импульсов, последовательности,
формируемые реальными сейс-
мическими источниками, обладают

некоторой амплитудной неидентич-
ностью импульсов в развёртке. Так,
например, для ранее разработанных
излучателей индукционно-динамиче-
ского типа, использованных с целью
возбуждения кодоимпульсных после-
довательностей, амплитуда импуль-
сов $A_{\text{имп}}$ непрерывно уменьшалась по
мере увеличения частоты следования
 F . Экспериментальная зависимость
 $A_{\text{имп}}(F)$, полученная для серийного
кодоимпульсного источника ИКИ-
10/40, удовлетворительно аппрокси-
мируется при $F \geq 5$ Гц степенной функ-
цией [2]

$$A_{\text{имп}} = k \cdot F^{-p}, \quad (2)$$

Для серийного кодоимпульсного
излучателя ИКИ-10/40 параметр $p \approx$
0,65.

Временную функцию, определяю-
щую закон изменения относительной
амплитуды кодоимпульсного сигнала
ЛИЧ в соответствии с условием (2),
можно представить следующим
образом:

$$A_{\text{имп}}(t) \sim [F_{\min} + (\Delta F / T)t]^{-p}, \quad (3)$$

Заменив в выражении (3) аргумент
 t на аргумент t_n , соответствующий
временному положению импульсов
функции кода в зависимости от их
порядкового номера n , и воспользо-
вавшись уравниванием функции кода
развёртки ЛИЧ, можно задать отно-
сительную амплитуду произвольного
импульса в развёртке.

$$A_{\text{имп}}(n) \sim \sqrt{F_{\min}^2 + 2n\Delta F / T}^{-p}, \quad (4)$$

Выполненные модельные исследо-
вания показали, что при использова-
нии наиболее эффективной для неф-
тегазовой сейсморазведки кодоим-

Таблица 2

Значения динамического диапазона корреляционного преобразования импульсных последовательностей ЛИЧ в децибеллах на временах, кратных 0,5 с, в зависимости от параметра ρ ($F_{\min} = 10$ Гц, $F_{\max} = 80$ Гц, $T = 20$ с, $t_{\text{ск}} = 2$ с, $f_{\text{вид}} = 55$ Гц)

№	Значения ρ	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	$\rho = 0$	54,52	53,33	50,10	52,25	44,49	43,35	47,62	49,59	50,06	47,53
2	0,08	54,60	53,33	49,76	52,01	44,09	43,07	47,46	49,44	49,83	47,38
3	0,16	54,67	53,32	49,41	51,75	43,69	42,78	47,30	49,29	49,60	47,23
4	0,32	54,80	53,21	48,64	51,17	42,91	42,22	46,98	48,97	49,12	46,93
5	0,65	54,97	52,66	46,90	49,75	41,36	41,13	46,36	48,26	48,11	46,36
6	1,2	54,86	50,62	43,83	47,10	39,03	39,60	45,55	47,05	46,59	45,61
7	1,8	54,08	47,40	40,71	44,37	37,01	38,45	45,10	45,95	45,40	45,25
8	2,4	52,79	44,11	38,15	42,20	35,67	37,99	45,19	45,32	44,89	45,50

пульсной последовательности ЛИЧ ($F_{\max} = 80$ Гц, $T = 20-30$ с) неидентичность импульсов в развёртке, определяемая степенной функцией (4), практически не влияет на форму главного максимума ФВК и форму соответствующего ему спектра даже при повышенных значениях параметра ρ , равных 0,32-0,65. Расчёты показали, что при значениях параметра $\rho \leq 0,32$ влияние неидентичности импульсов в развёртке на уровень помех преобразования в дальней зоне корреляционной функции также незначительное (см. таблицу 2).

Таким образом, динамика корреляционных функций для наиболее эффективных кодоимпульсных сигналов ЛИЧ ($F_{\max} \approx 80$ Гц и $T = 20 \div 30$ с) практически не искажается при амплитудной неидентичности импульсов в развёртке, определяемой степенной функцией (4), при условии $\rho \leq 0,32$, т.е. при двухкратном уменьшении амплитуды импульсов в частотном диапазоне 10-80 Гц. Вместе с тем очевидно, что уменьшение амплитуды возбуждаемых импульсов по мере увеличения частоты следования приведёт к снижению общей энергии формируемого сигнала, а значит и к снижению помехоустойчивости метода по отношению к некогерентным помехам. Принимая при этом во внимание то обстоятельство, что амплитуда некогерентных помех на коррелограмме в принципе не зависит от амплитудной неидентичности возбуждаемых импульсов, можно утверждать, что отношение сигнал/помеха на коррелограмме будет пропорционально

лишь максимальному значению ФВК импульсной последовательности.

Так, на рис. 2а представлены графики пиковой амплитуды главного максимума ФВК эффективной импульсной последовательности ЛИЧ в зависимости от параметра ρ , рассчитанные для импульсов с различной преобладающей частотой $f_{\text{вид}}$. Из рисунка 2а можно видеть, что при двухкратном уменьшении амплитуды импульсов по мере увеличения частоты следования от 10 Гц до 80 Гц, т.е. при $\rho = 0,32$, амплитуда ФВК, а значит и помехоустойчивость метода, уменьшается в $\approx 1,78$ раза для $f_{\text{вид}} = 55$ Гц, в $\approx 1,63$ раза для $f_{\text{вид}} = 45$ Гц, в $\approx 1,46$ раза для $f_{\text{вид}} = 35$ Гц и в $\approx 1,43$ раза для $f_{\text{вид}} = 25$ Гц. Скомпенсировать указанное снижение помехоустойчивости метода представляется возможным либо путём увеличения числа излучателей в группе в $\approx 1,5$ раза, либо за счёт более чем ≈ 2 -х кратного увеличения числа воздействий, что приведёт к существенным экономическим потерям при проведении полевых работ.

В качестве приемлемого компромисса при формулировании технического задания на излучатель, используемый для формирования кодоимпульсных сигналов ЛИЧ, следует, по-видимому, рассматривать амплитудную неидентичность импульсов в развёртке, соответствующую значениям параметра $\rho \leq 0,16$.

Анализируя графики, приведённые на рис. 2а, следует обратить внимание на весьма интересное обстоятельство, заключающееся в том, что

ЗАЧЕМ НЕФТЯНИКАМ ГЕОФИЗИКА ТЕХНОЛОГИИ

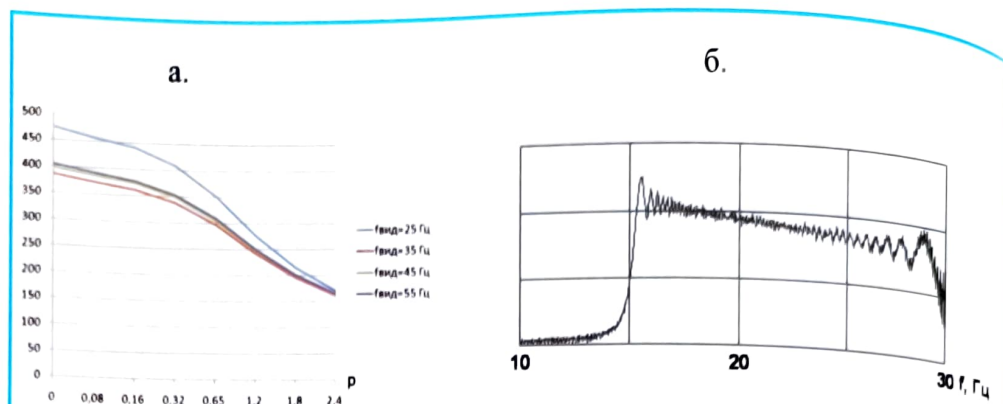


Рис. 3. Влияние амплитудной неидентичности импульсов в кодоимпульсной развёртке ЛИП на динамику ФVK последовательности ($F_{\max} = 30$ Гц, $T = 20$ с, $N = 401$)
а – зависимость амплитуды ФVK от p ; б – спектр ФVK функции кода ЛИП.

амплитуда главного максимума ФVK при использовании кодоимпульсных сигналов ЛИЧ может существенно возрастать по мере увеличения преобладающей частоты импульсов $f_{\text{вид}}$. Физически это связано с тем, что спектр функции кода ЛИЧ имеет весьма существенный наклон, обуславливающий равномерное увеличение спектральной плотности с ростом частоты (см. рис. 26). Т.е. здесь мы имеем эффект физически аналогичный использованию, например, нелинейных степенных или логарифмических развёрток в вибро-сейсе [2].

Для последовательностей ЛИП временную функцию, определяющую закон изменения относительной амплитуды кодоимпульсного сигнала в соответствии с условием (2), можно представить следующим образом:

$$A_{\text{имп}}(t) \sim [T_0 + [(T_{N-1} - T_0) / T] t]^p, \quad (5)$$

где T_0 – начальный период следо-

вания, T_{N-1} – конечный период следования.

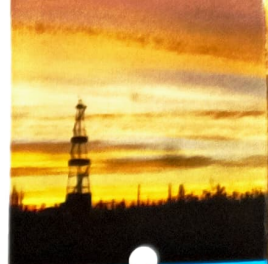
Заменяв в выражении (5) аргумент t на аргумент t_n , соответствующий временному положению импульсов функции кода ЛИП в зависимости от их порядкового номера n , и воспользовавшись уравнением функции кода последовательностей ЛИП, можно задать относительную амплитуду произвольного импульса в развёртке.

$$A_{\text{имп}}(n) \sim \{T_0 + [(T_{N-1} - T_0) / T] \cdot [nT_0 - n(n-1) \Delta T / 2]\}^p, \quad (6)$$

Результаты проведённого моделирования показали, что при использовании наиболее эффективной для нефтегазовой сейсморазведки кодоимпульсной последовательности ЛИП ($F_{\max} = 30-40$ Гц, $T = 20-30$ с) неидентичность импульсов в развёртке, определяемая степенной функцией (6), практически не влияет на форму главного максимума ФVK и соответ-

Таблица 3
Значения динамического диапазона корреляционного преобразования импульсных последовательностей ЛИП в децибеллах на временах, кратных 0,5 с в зависимости от параметра p ($F_{\max} = 30$ Гц, $T = 20$ с, $N = 401$, $f_{\text{вид}} = 55$ Гц)

№	Значения p	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
1	$p=0$	42,02	49,98	53,00	53,63	52,52	55,78	53,81	54,33	55,33	56,64
2	0,08	41,90	49,88	52,91	53,56	52,51	55,76	53,85	54,40	55,37	56,71
3	0,16	41,77	49,77	52,82	53,49	52,49	55,74	53,89	54,47	55,41	56,78
4	0,32	41,49	49,52	52,61	53,33	52,45	55,68	53,97	54,61	55,47	56,91
5	0,65	40,85	48,91	52,11	52,95	52,32	55,51	54,11	54,89	55,59	57,16
6	1,2	39,65	47,72	51,10	52,19	52,04	55,13	54,29	55,31	55,73	57,48
7	1,8	38,22	46,31	49,88	51,24	51,63	54,63	54,38	55,67	55,81	57,70
8	2,4	36,78	44,89	48,65	50,27	51,17	54,10	54,38	55,93	55,85	57,81



ствующего ей спектра даже при повышенных значениях параметра p , равных 0,32 - 0,65. Выполненные расчёты показали также, что при значениях параметра $p \leq 0,65$, неидентичность импульсов в развёртке весьма незначительно влияет на уровень помех преобразования и в дальней зоне корреляционной функции (см. таблицу 3).

Таким образом, динамика корреляционных функций для наиболее эффективных кодоимпульсных сигналов ЛИП практически не искажается при амплитудной неидентичности импульсов в развёртке, определяемой степенной функцией (6), при условии $p \leq 0,65$, т.е. при ≈ 2 -х кратном уменьшении амплитуды импульсов в частотном диапазоне 10 - 30 Гц. Вместе с тем очевидно, что для последовательностей ЛИП, также как и для кодоимпульсных сигналов ЛИЧ, уменьшение амплитуды воздействий по мере увеличения частоты следования приведёт к снижению помехоустойчивости метода по отношению к некогерентным помехам.

Так, на рис.3а представлены графики пиковой амплитуды главного максимума ФВК эффективной импульсной последовательности ЛИП в зависимости от параметра p , рассчитанные для импульсов с различной преобладающей частотой $f_{\text{вид}}$. Из рисунка 3а можно видеть, что при двукратном уменьшении амплитуды импульсов по мере увеличения частоты следования от 10 Гц до 30 Гц, т.е. при $p = 0,65$, амплитуда ФВК, а значит и помехоустойчивость метода, уменьшается в $\approx 1,36$ раза для $f_{\text{вид}} = 25$ Гц, и в $\approx 1,33$ раза для $f_{\text{вид}} = 35 - 55$ Гц. Скомпенсировать указанное снижение помехоустойчивости метода представляется возможным путём увеличения кратности накопления колебаний на ≈ 80 %, что приведёт к существенному снижению производительности работ.

В качестве приемлемого компромисса для кодоимпульсного излучателя, используемого для формирования последовательностей ЛИП, следует, по-видимому, рассматривать амплитудную неидентичность импульсов в развёртке, соответствующую значениям параметра $p \leq 0,32$.

При сопоставлении графиков, приведённых на рис. 2 а и 3 а, интересным представляется то обстоятельство,

что если амплитуда главного максимума ФВК при использовании кодоимпульсных сигналов ЛИЧ может существенно возрасти по мере увеличения преобладающей частоты импульсов $f_{\text{вид}}$, то при использовании развёрток ЛИП более высокоамплитудный максимум ФВК формируется для низкочастотного 25-герцового импульса. Физически это связано с тем, что значения спектральной плотности функции кода при увеличении частоты существенно возрастают для развёрток ЛИЧ и несколько уменьшаются при использовании последовательностей ЛИП (см. рис. 2 б и 3 б).

Повысить эффективность кодоимпульсного метода можно путём применения двухполярных импульсных последовательностей, позволяющих существенно уменьшить интенсивность корреляционного фона при кодоимпульсном накоплении. Наибольший интерес для сейсморазведки представляют двухполярные дополнительные последовательности при использовании которых корреляционный фон в идеальной ситуации полностью обнуляется [1].

Импульсные последовательности $F_n(t)$ и $'F_n(t)$ называются дополнительными, если им соответствуют функции кода $K(t)$ и $'K(t)$, для которых выполняется условие

$$U_0(\tau) + 'U_0(\tau) = \begin{cases} 2, \tau = 0, \\ 0, \tau = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1) \end{cases} \quad (7)$$

где $U_0(\tau)$ и $'U_0(\tau)$ – нормированные ФАК функций $K(t)$ и $'K(t)$.

Т.е. для таких последовательностей сумма ФАК функций кода равна нулю везде, кроме $\tau=0$. При этом каждая функция кода дополнительных последовательностей состоит из одинакового чётного числа импульсов Кронекера, следующих через равные интервалы и имеющих амплитуды +1 или -1.

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 простой способ, позволяющий формировать двух-полярные последовательности излучателями одностороннего действия [4]. В предложенном способе разнополярную последовательность

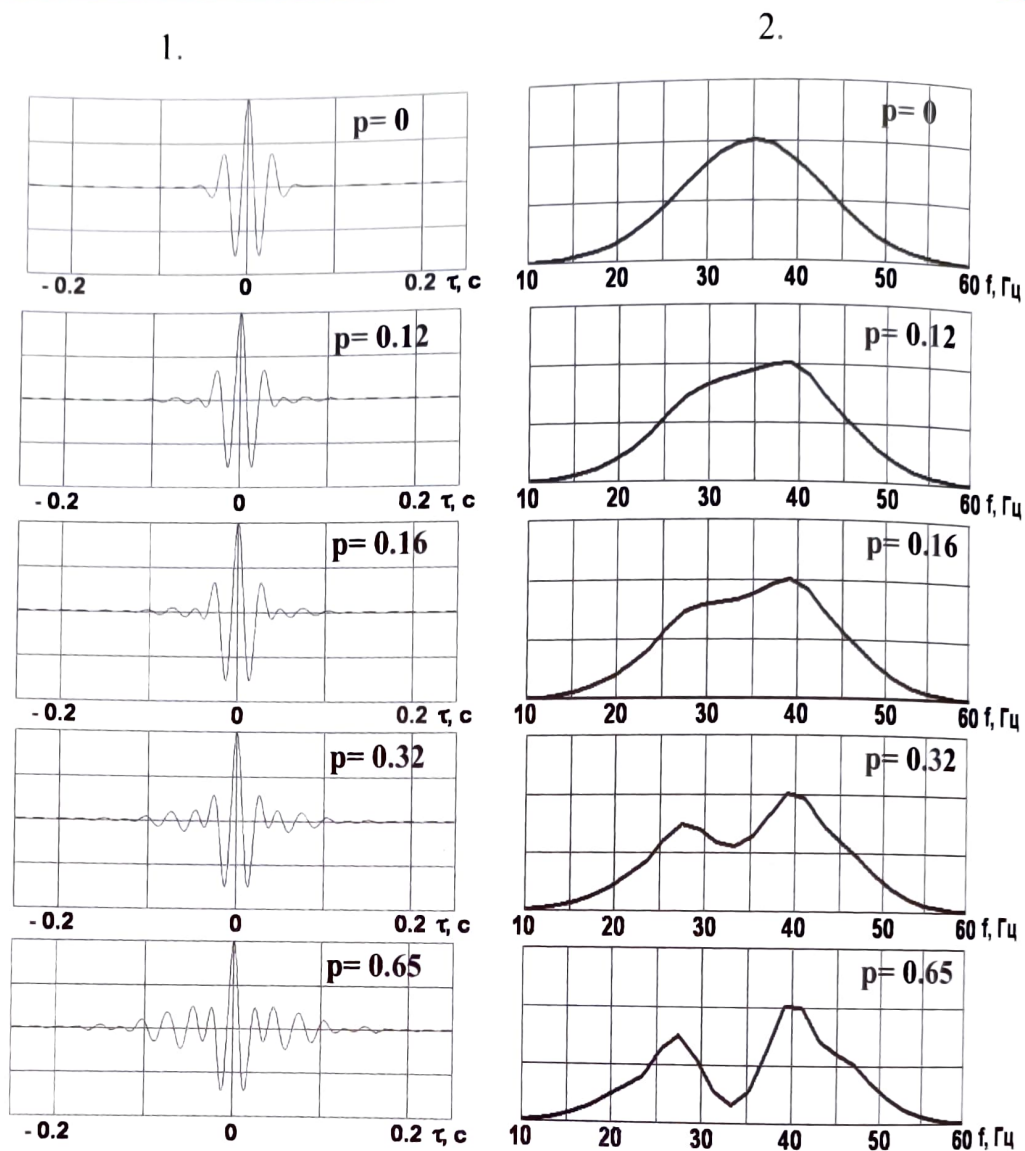


Рис. 4. ФВК (1) и амплитудные спектры главных максимумов ФВК (2) двухполярных импульсных дополнительных последовательностей, сформированных путём поочерёдной отработки импульсов с положительной и отрицательной полярностью ($f_{\text{вид}} = 35$ Гц)

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 бы регистрировалась при использовании кодоимпульсных излучателей двухстороннего действия силы.

Вместе с тем, при раздельной отработке импульсов с положительной и отрицательной полярностью частота следования возбуждаемых колебаний не остаётся постоянной,

что приводит к амплитудной неидентичности, определяемой зависимостью (2). Так, для дополнительных последовательностей $\approx 48,8\%$ импульсов следует с частотой $F = 1/\tau_0$, $\approx 25,2\%$ - с $F = 1/2\tau_0$, $\approx 12,6\%$ - $F = 1/3\tau_0$, $\approx 6,3\%$ с $F = 1/4\tau_0$, $\approx 3,1\%$ - $F = 1/5\tau_0$, $\approx 1,6\%$ - с $F = 1/6\tau_0$, $\approx 0,8\%$ - с $F = 1/7\tau_0$ и 4 импульса имеют нулевую частоту следования. Здесь $1/\tau_0$ - тактовая частота следования импульсов для двухполярной последовательности.

В случае повышенных значений параметра p амплитудная неидентичность в двухполярных последовательностях, формируемых путём раздельной отработки импульсов с поло-

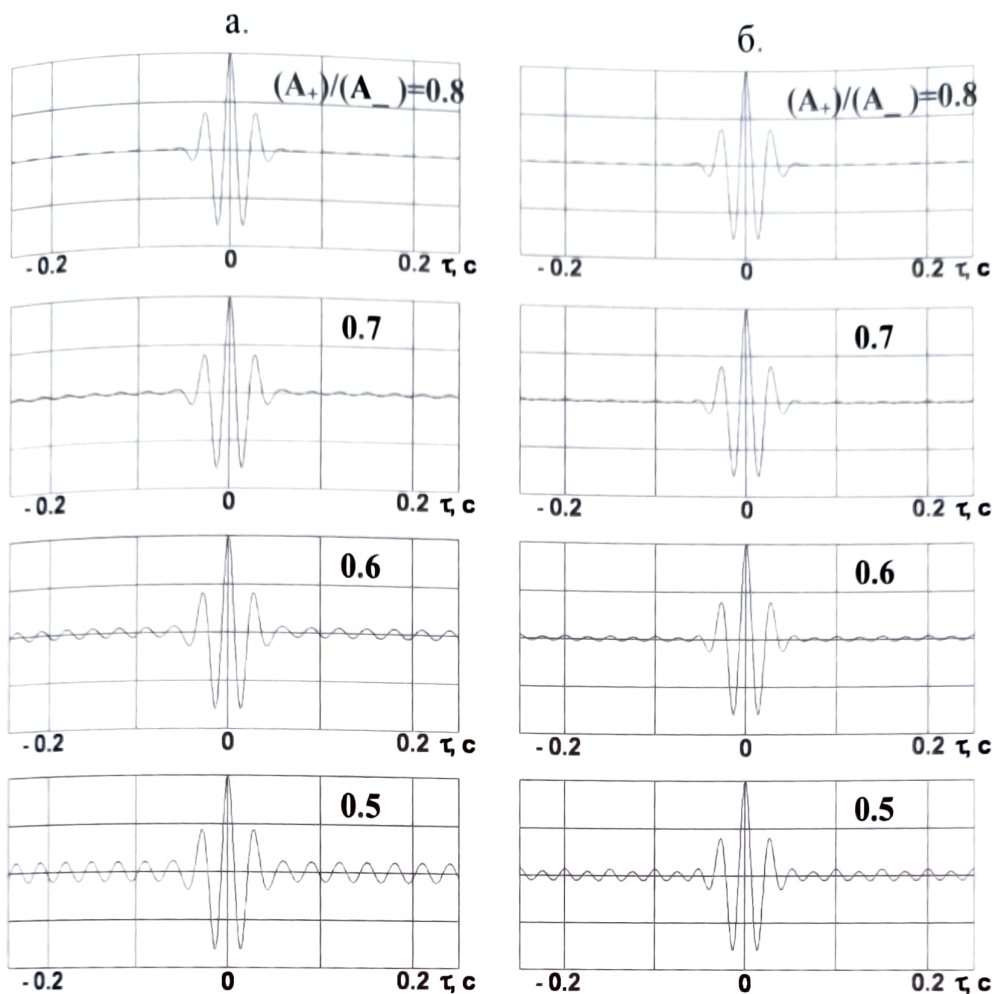


Рис. 5. Главные максимумы ФВК дополнительных последовательностей, сформированных при различных соотношениях между амплитудами импульсов с положительной (A_+) и отрицательной (A_-) полярностью ($f_{\text{вид}} = 35$ Гц, $N=256$)
а - $\tau_0 = 30$ мс; б - $\tau_0 = 50$ мс.

жительной и отрицательной полярностью, может приводить к ухудшению формы ФВК и снижению помехоустойчивости метода.

На рис. 4 представлены главные максимумы ФВК дополнительных последовательностей, формируемых путём раздельной обработки импульсов с положительной и отрицательной полярностью, и соответствующие им амплитудные спектры, рассчитанные при различных значениях параметра p . При моделировании значения параметра p изменялись от нуля до 0,65, тактовый период следования импульсов τ_0 равнялся 30 мс. Видимая частота импульсов в развёртках принималась равной 35 Гц. Каждая из дополнительных последовательностей включала в себя по 256 импульсов. Функции кода дополнительных последовательностей,

выбранных для анализа, приведены ниже:

$K(t) = 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1$
 $1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1$
 $1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1$
 $1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1$
 $1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1$
 $-1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1$
 $1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1$

$'K(t) = 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1$
 $1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1$
 $1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$
 $1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$