

Некоторые результаты экспериментальных работ по управлению параметрами излучения импульсных невзрывных источников типа «Енисей»

Детков В.А., СНИИГИМС, г. Новосибирск; Шайдуров Г.Я., Сибирский федеральный университет, г. Новосибирск

В публикациях [1,2] были даны теоретические предпосылки управления импульсными невзрывными источниками «Енисей» (ИНИ) путем адаптивной оценки отношения сигнал/шум и управления частотой излучения группы ИНИ.

Ожидаемый технико-экономический эффект подобного управления заключается в минимизации числа ударов импульсного источника, снижении уровня синхронных помех от поверхностных волн, улучшении качества обработки принимаемого сигнала за счет снижения влияния нелинейностей входных цепей и аналого-цифрового преобразования, снижении энергетических затрат источника излучения.

В соответствии с [1] алгоритм выделения полезного сигнала в процессе возбуждения георазреза последовательностью импульсных ударов заключается в спектральной обработке сигналов отклика ближайшего к источнику сейсмоприемника на ранних и поздних временах задержки, вычислении отношения этих спектров.

На рис.1 показаны эпюры зондирующего импульса $I(t)$ и отраженных сигналов $U(t)$ с ближайшего к источнику сейсмоприемника, который дает сигналы первого и второго отражающего слоя на интервалах времени (t_1, t_2) и (t_3, t_4) , соответственно. Отношение их Фурье-преобразований дает спектральную характеристику полезного сигнала второго слоя.

$$\Phi_2(j\omega) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} U(t)e^{-j\omega t} dt}{\int_{t_3}^{t_4} U(t)e^{-j\omega t} dt} \quad (1)$$

Интегрирование на всей частотной плоскости позволяет оценить мощность полезного сигнала, отраженного вторым слоем, без влияния верхнего (первого) неоднородного слоя георазреза:

$$P_c = \int_{-\infty}^{\infty} |\Phi_2(j\omega)|^2 d\omega \quad (2)$$

Мощность некоррелированного шума определяется по этому же сейсмоприемнику перед первым ударом:



Рис.2. Общий вид БЗНК-1

$$P_w = \frac{1}{T} \int_0^T U_w^2(t) dt \quad (3)$$

где $U_w(t)$ сигнал шумов перед первым ударом;

$[0, T]$ интервал наблюдения

Через заданное отношение $q = \frac{P_c}{P_w}$ оператор

сейсмостанции определяет необходимое число ударов излучателя. Безусловно, описанный алгоритм требует экспериментального подтверждения и коррекции с учетом реальной ситуации на профиле, однако необходимость снижения уровня микросейсм за счет перехода на аккумуляторный режим зарядки источников потребует эффективных мер по минимизации их энергетических затрат. В этом смысле, информация о текущем отношении сигнал/шум позволяет оператору сейсмостанции минимизировать число ударов и, тем самым, увеличить производительность работ разведочного комплекса.

В течение 2007-2008г. научно-техническим центром радиоэлектроники «Мезон» Сибирского федерального университета (СФУ) по техническому заданию ОАО «Енисейгеофизика» были разработаны и изготовлены установочной серией 10 шт. опытных образцов устройств зарядки БЗНК-1 конденсаторов ИНИ от бортовых аккумуля-

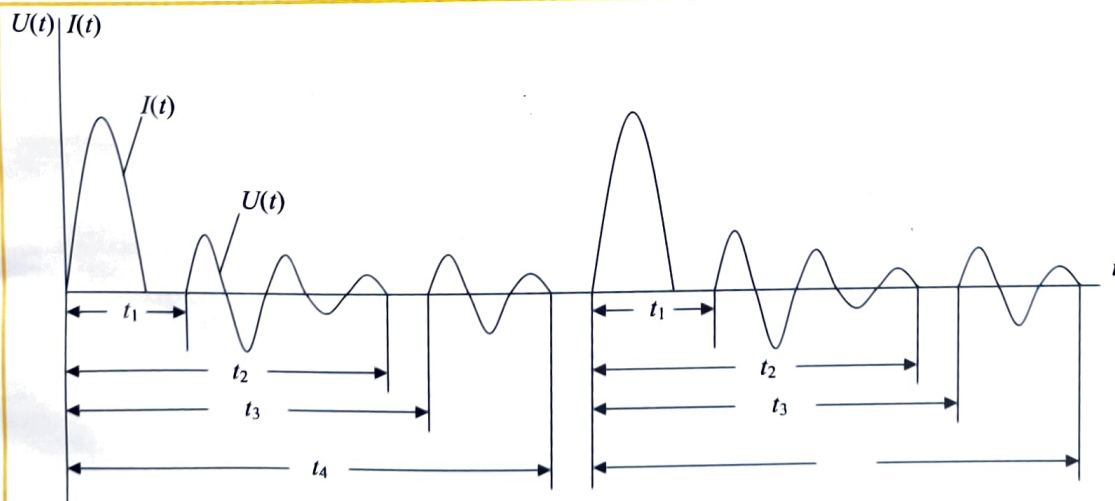


Рис.1. Эпюры сигналов на выходе сейсмоприемника

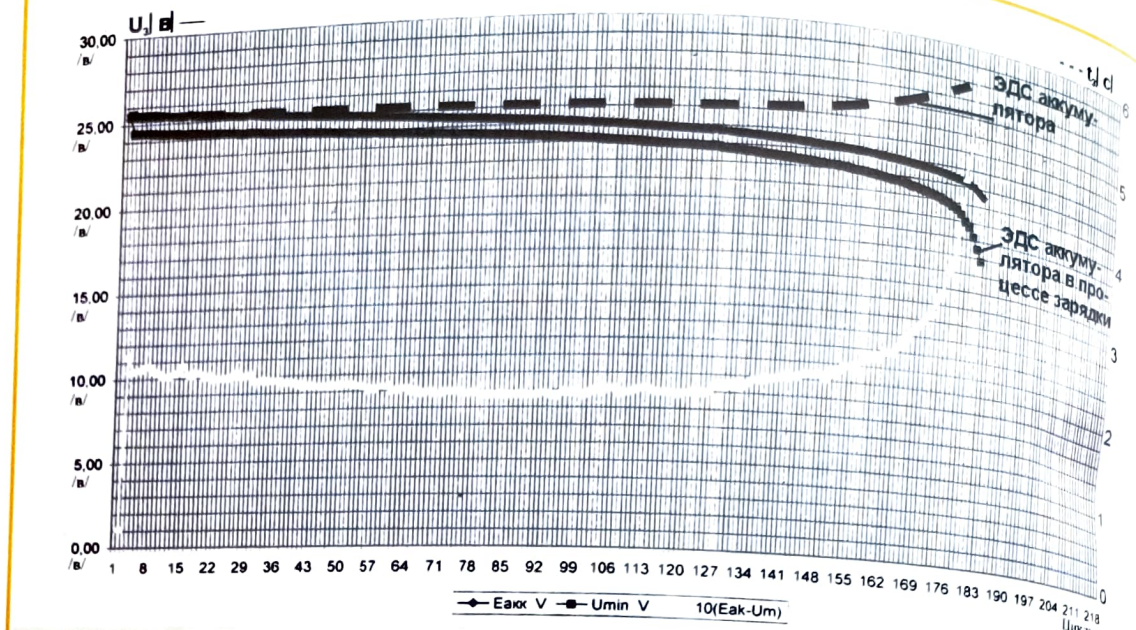
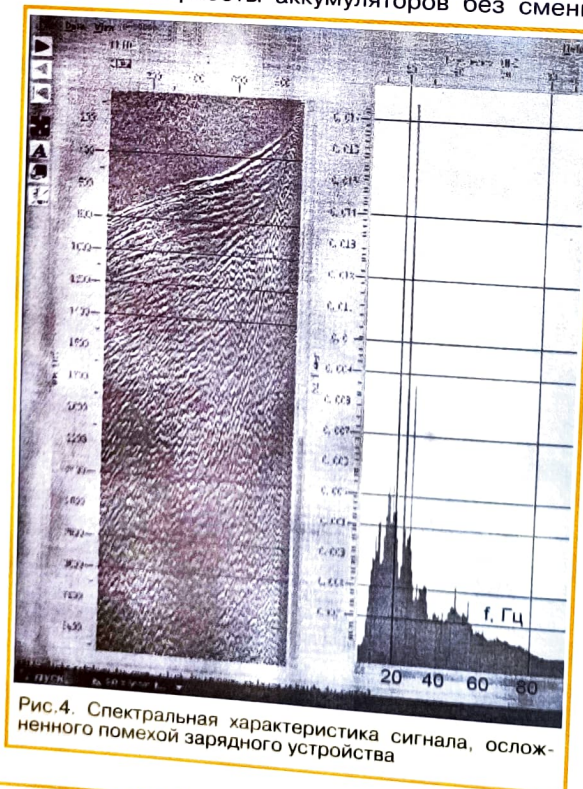


Рис.3. Графики зависимости напряжения аккумуляторов емкостью 90 а/час и времени зарядки от числа рабочих циклов

ляторов (рис.2), разработаны экспериментальные макеты подзарядки аккумуляторов в период движения базовой машины ИНИ, а также схемы управления и индикации параметров излучения. Линейные размеры БЗНК-1 250 x340 x150 мм.

На рис.3 приведены графики зависимости напряжения аккумуляторов емкостью 90 а/час и времени зарядки от числа рабочих циклов. В каждый из этих циклов входит 8 подциклов заряд-разряд. По результатам испытаний общее количество подциклов заряда блока конденсаторов в 10000 мкФ до напряжения 850 В составило 1432. При этом напряжение аккумуляторов снизилось с 25 В до 22 В, а время зарядки увеличилось с 5.08 до 6.02 с. Таким образом, при времени перехода с точки на точку, равном 3 мин, общее время наработки устройства до смены аккумуляторов составляет 3 часа. Для обеспечения режима работы аккумуляторов без смены



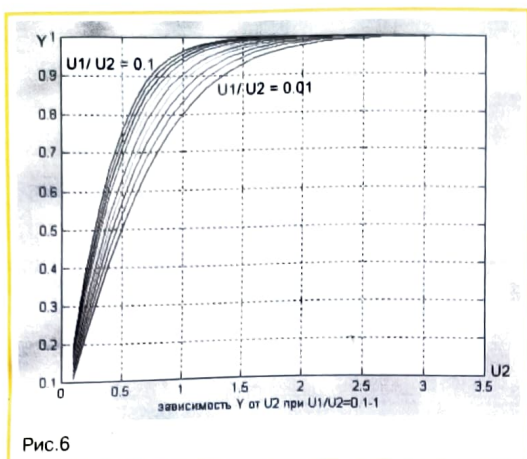
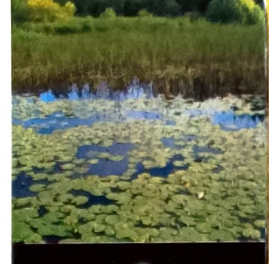


Рис.6

полученных при работающем (а) и заглушенном (б) двигателе источника с зарядом от аккумуляторов. Из этих данных видно, что работа при заглушенном двигателе источника существенно расширяет спектр сигнала в области частот выше 20 Гц. Причину этого явления можно объяснить подавлением слабых сигналов более мощными помехами вибраций от работающего двигателя на нелинейностях входных цепей сейсмостанции и влиянием стробоскопических эффектов преобразования аналогового сигнала в цифровой код в АЦП.

На рис.6 показана расчетная зависимость выходного сигнала сейсмического усилителя от амплитуды более сильного входного сигнала и отношения амплитуд слабый/сильный сигнал U_1/U_2 при действии на входе усилителя комбинации $U_1 + U_2$, при $U_1 \ll U_2$. Амплитудная характеристика усилителя аппроксимирована кривой (рис.7)

$$y = thx = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (4)$$

При гармонических сигналах $u_1 = u_{m1} \sin \omega_1 t$; $u_2 = u_{m2} \sin \omega_2 t$ выходной сигнал усилителя можно приближенно записать как

$$u_{\text{вых}} \approx \alpha(u_1 + u_2) + \beta u_{m2}^2 \sin^2 \omega_2 t + 2\beta u_{m1} u_{m2} \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t \quad (5)$$

Третий член этого выражения является комбинацией полезного (слабого) и мешающего (сильного) сигналов с частотами $\omega_1 \pm \omega_2$. При сложном спектральном составе помех и сигнала комбинация их разностных частот может давать составляющие, входящие в полосу частот полезного сигнала, которые последующей цифровой частотной фильтрацией не устраняются, что и обуславливает негативное влияние нелинейности усилителя.

Несмотря на то, что разработчики сейсмостанций минимизируют коэффициент передачи входных усилителей за счет введения многоуровневого аналого-цифрового преобразователя АЦП (порядка 24 двоичных разрядов), описанные выше нелинейные эффекты могут иметь место и в электронных цепях АЦП при поразрядном уравнивании и других процедурах, при которых формируется разностный сигнал и сопоставляется с нелинейным порогом компаратора. Нельзя не принимать во внимание и нелинейность амплитудных характеристик сейсмоприемников, особенно ферромагнитного типа. Сегодня для лучших сейсмоприемников коэффициент нелинейных искажений соответствует величине порядка 10^{-4} .

Таким образом, поиск методов увеличения динамического диапазона по амплитуде входных устройств сейсмостанций является актуальной задачей.

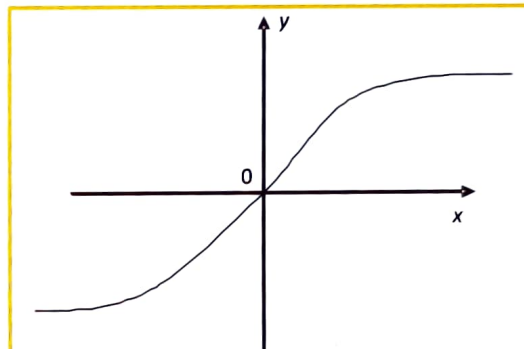


Рис.7. Зависимость выходного сигнала сейсмического усилителя от амплитуды более сильного сигнала u_2 и отношения слабый/сильный сигналы u_1/u_2 .

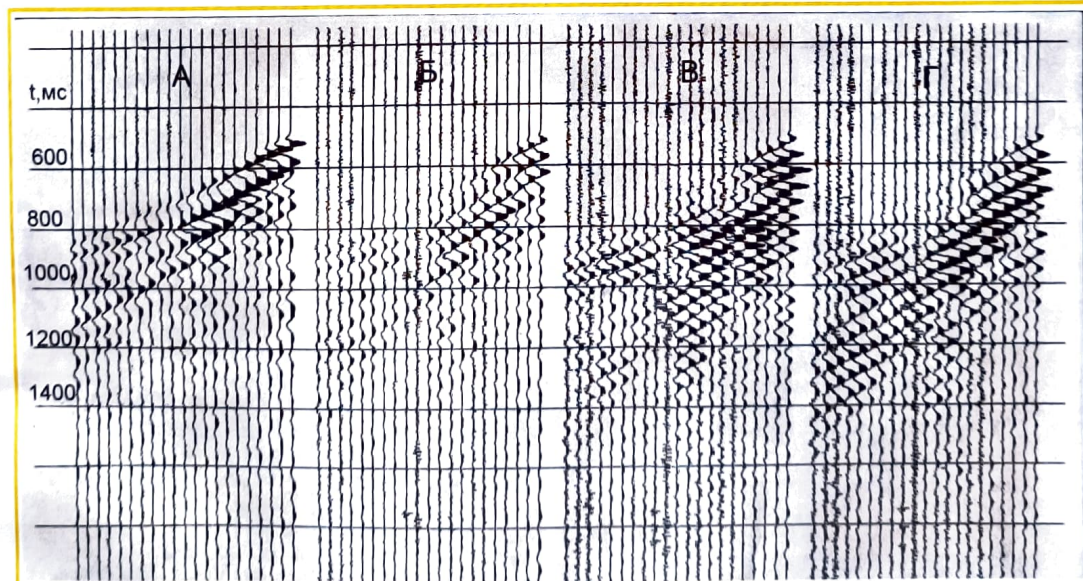


Рис.8. Пример сейсмограмм: А – режим одновременного возбуждения; Б – режим А, но с дополнительной обработкой согласованным фильтром; В – режим последовательного возбуждения с периодом 50 мс и согласованной фильтрацией с периодом 50 мс; Г – режим В, но с согласованной фильтрацией с периодом 60 мс.

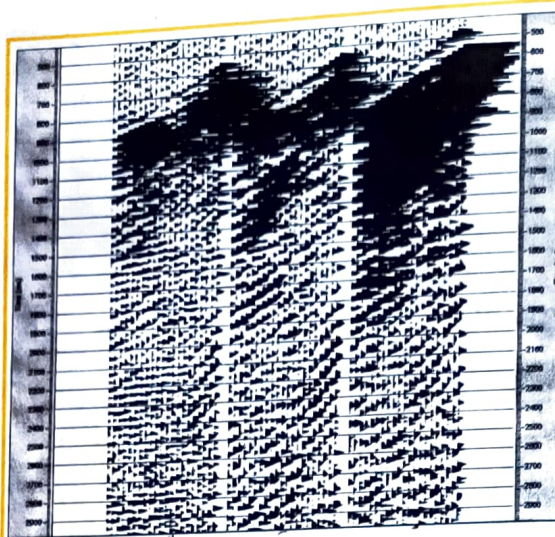


Рис.9. Сопоставление волновой картины на сейсмограммах:

А, Б – последовательное возбуждение 3-х источников.
А – применение задержки 40 мс и свертка с импульсным фильтром 40 мс.
Б – применение задержки 40 мс.
В – полевая сейсмограмма при синхронном (одновременном) возбуждении 3-х источников.

В работе [2] нами приведены расчетные материалы по введению частотно-импульсного режима работы группы импульсных невзрывных источников типа «Енисей», позволяющего сосредоточить энергию излучаемого сигнала в некоторой узкой полосе частот вблизи ожидаемой частоты полезного сигнала.

Этот алгоритм предложен для снижения уровня синхронных помех (СП) на входе сейсμοприемников. Суть метода управления частотой излучения группы импульсных невзрывных источников заключается в их последовательном возбуждении с периодом повторения T , соответствующим ожидаемой частоте полезного сигнала. При согласованной обработке сигналов, поступающих на сейсμοприемники от каждого источника, т.е. их сложением с учетом задержки на время iT , где $i=1,2,3...$ номер источника в группе, мы получаем такое же соотношение сигнал/синхронная помеха плюс шум, как в случае использования метода одновременного возбуждения источников в группе. Однако метод последовательного возбуждения существенно снижает уровень синхронных помех на первых по задержке вступлениях сигнала, т.е. реакцию верхних непродуктивных слоев георазреза, и существенно улучшает динамику сигнала по амплитуде.

Ниже приведены некоторые результаты полевых работ по частотно-импульсному режиму возбуждения группы ИНИ.

Испытания производились в сентябре 2007 г. в Богучанской геофизической экспедиции в Красноярском крае.

Для возбуждения использовались три источника «Енисей» типа КЭМ-4, расположенные линейным образом вдоль профиля наблюдения на расстоянии 5-10 м.

На рис.8, 9 изображены фрагменты сейсмограмм при одновременном возбуждении георазреза тремя источниками (А) и последовательном возбуждении с временами задержки запуска источников, соответственно, 0, 50, 100 мс (Б). Из сопоставления этих сейсмограмм видно, что последовательный режим возбуждает более глубокие поверхностные слои со смещением порядка 400 м и сдвигом по времени на 200 мс, при допущении скорости распространения волн 2000 м/с.

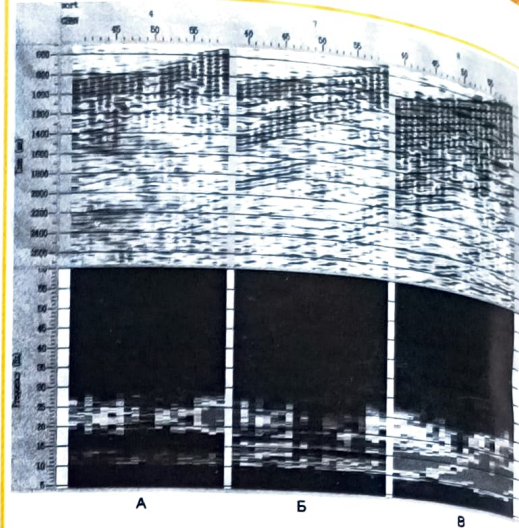


Рис.10. Частотные характеристики наблюдаемых волновых полей.

А – последовательное возбуждение 3-х источников с задержкой 40 мс и согласованной фильтрацией.
Б – последовательное возбуждение 3-х источников с задержкой 40 мс без фильтрации.
В – синхронное (одновременное) возбуждение 3-х источников

Введение согласованной фильтрации при вторичной цифровой обработке путем сложения отраженных сигналов со сдвигом во времени, равным 50 мс и 60 мс, увеличивает отношение сигнал/шум в соответствии с теорией [2] и позволяет наблюдать отраженные сигналы с задержкой в 1400 мс, т.е. сдвинутые по времени на 400 мс относительно варианта последовательного возбуждения, что соответствует глубинам отражающих границ, соответственно: 2800 м (последовательное возбуждение) и 2000 м (параллельное возбуждение).

Подавление низкочастотных волн-помех при переходе на режим последовательного возбуждения в группе ИНИ видно на спектральных характеристиках рис. 10 (А, Б, В). По сравнению с последовательным режимом, частотно-импульсный режим смещает основной спектр сигнала из диапазона 10-15 Гц в диапазон 20-25 Гц.

Это подтверждает выводы о том, что частотно-импульсный режим возбуждения сейсмической волны группой источников с использованием согласованной фильтрации при вторичной цифровой обработке сигналов обеспечивает не худшие результаты, чем режим одновременного возбуждения, а в сложных геолого-геофизических условиях верхней части разреза частотно-импульсный режим позволяет дополнительно компенсировать низкочастотные синхронные помехи, связанные с поверхностными волнами, и тем самым снизить негативное влияние нелинейностей сейсμοприемников и входных цепей сейсмостанции.

Литература

1. Детков В.А., Шайдунов Г.Я. О возможности адаптивного управления импульсными невзрывными источниками. Приборы и системы разведочной геофизики. Изд. Саратовского отделения Евро-Азиатского геофизического общества. г.Саратов. № 4. 2007. с. 14-16.
2. Детков В.А., Шайдунов Г.Я. Частотно-импульсный режим возбуждения сейсмических волн группой импульсных невзрывных источников. Приборы и системы разведочной геофизики. Изд. Саратовского отделения Евро-Азиатского геофизического общества. г.Саратов. № 4. 2007. с. 11-13.