

Результаты испытаний электромагнитного импульсного источника типа "ЕНИСЕЙ СЭМ-100" в условиях левобережной части Саратовской области

Заложных М. А., Барупин Д. А., ОАО "Саратовнефтегеофизика", г. Саратов

В 2005 г. сотрудниками ОАО "Саратовнефтегеофизика" в условиях левобережной части Саратовской области были проведены опытные работы для определения эффективности использования электромагнитного импульсного источника (ЭИИ) "Енисей СЭМ-100", а также его сравнения с вибриванным источником (ВИ) типа СВ 27/150-362.

В результате проведенных работ на Сосновогорском лицензионном участке, северная часть которого относится к южному склону Жигулевского свода, южная часть участка располагается на территории Приизского прогиба, были получены первичные полевые сейсмограммы при разном количестве импульсных источников и различном количестве накоплений.

Таблица 1. Параметры возбуждения колебаний ЭИИ "Енисей СЭМ-100".

№ записи	Кол-во ЭИИ	Кол-во накоплений	Кол-во позиций	Кол-во воздействий	Пикет (м)
1	3	4	1	12	600
2	3	6	1	18	600
3	3	8	1	24	600
4 - 14	3	6	1	18	650-1150
15 - 42	2	5	2	20	1200-2550

На том же интервале профиля были выполнены сейсмические наблюдения с использованием вибровисточника, параметры возбуждения для которого были выбраны на основании опытных работ, выполненных ранее на данной площади.

Таблица 2. Параметры возбуждения колебаний вибровисточником.

№ записи	Кол-во вибровисточников	Кол-во накоплений	Кол-во позиций	Кол-во воздействий	Пикет (м)
15 - 42	2	5	2	20	650-1150

Камеральные работы обеспечивались партий обработки ОАО "Саратовнефтегеофизика", граф обработки первичного материала (ПМ) состоял из следующих этапов:

- редакция, гармонизация записи, автоматическая регулировка усиления;
- корректирующая фильтрация (деконволюция, полосовая фильтрация);
- подавление среднескоростных волн помех

(фильтрация в FK-области).

При проведении анализа и сопоставлении полученных сейсмических материалов на разных этапах обработки по сейсмограммам были рассчитаны АЧХ, а также количественные оценки качества ПМ. Среди них анализировались, как наиболее информативные, следующие характеристики записи:

- соотношение сигнал/помеха (S/N) - определяет, во сколько раз по амплитуде полезный сигнал превышает нерегулярные помехи;
- разрешающая способность импульса (RP) - зависит от доминирующей частоты сигнала, его вариации согласуются с хорошо видимыми изменениями АЧХ;
- характеристическая разрешающая способность записи (RPN) - комплексный параметр, определяющийся на основе двух предыдущих.

Окно расчета АЧХ и количественных оценок (для сейсмограмм) включало целевые горизонты (карбона и девона) в интервале 700-1200 м на удалениях 400-1250 м (из расчета исключены трассы, содержащие конус звуковых помех с кажущимися скоростями до 500 м/с). Значения рассчитанных оценок приведены в таблицах 3 и 4.

Определение необходимого количества используемых единичных источников, а также числа накоплений сигналов на одном пункте возбуждения является принципиально важным этапом при выборе технологии полевых работ. Оптимизации указанных параметров предполагает достижение максимально возможного уровня энергии регистрируемого полезного сигнала наряду с сохранением экономической эффективности работ. При проведении опытных работ количество накоплений тестировалось в пределах от 4-х до 10-ти при одновременной работе 2-х или 3-х источников.

Тестирование параметров накоплений показало большие флуктуации оценок S/N (от 0,5 до 3,0), что возможно обусловлено различиями в условиях возбуждения в отдельных точках на профиле. Имеющийся материал недостаточен для проведения строгого статистического анализа, который позволял бы делать вывод, опираясь только на количественные критерии, поэтому, помимо расчета количественных оценок, выполнялся также визуальный контроль качества всей совокупности полученных с ЭИИ сейми-

Таблица 3. Количественные оценки по сейсмограммам при различных параметрах возбуждения для ЭИИ "Енисей СЭМ-100".

этап обработки	1			2			3		
параметры фильтра *	Нет			10/14-60/70 Гц			10/14-60/70 Гц		
тип оценки	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN
номер записи	значение оценки								
1	31.39	4.04	25.17	60.58	1.17	32.60	67.76	0.88	31.74
2	31.34	4.12	25.22	60.81	1.17	32.85	68.15	0.94	33.07
3	31.31	3.77	24.74	60.50	1.13	32.13	67.91	0.96	33.34
1+2+3 **	31.33	4.31	25.42	60.69	1.18	32.89	68.03	0.98	33.71
4 - 14 ***	28.26	4.60	23.10	61.98	1.02	31.26	72.98	0.74	30.87
15 - 42 ***	25.30	4.53	20.38	59.51	0.92	28.43	65.52	0.67	26.21
							59.35	16.72	56.00
							59.47	16.49	56.07
							59.22	16.55	55.85
							59.33	16.73	55.99
							58.12	15.18	54.43
							59.41	11.16	54.34
							68.00	2.01	45.38
							67.83	2.50	48.42
							67.89	2.73	49.67
							67.88	3.18	51.64
							73.18	1.56	42.51
							73.75	1.33	41.11

* - полосовой фильтр, применявшийся на 2-ом этапе после деконволюции.

** - суммарная сейсмограмма, полученная путем сложения 3-х записей с номерами 1, 2, 3.

*** - интервал профиля, для которого приведено среднее значение оценки.



ИСПЫТАНИЯ "ЕНИСЕЙ" ОТ ОАО "ЕНИСЕЙГЕОФИЗИКА"

Таблица 4. Количественные оценки по сейсмограммам для ВИ.

этап обработки	1			2			3		
параметры фильтра	Нет			10/14-60/70 Гц			10/14-110/120 Гц		
тип оценки	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN	RP	S/N	RPN
номер записи	значение оценки								
13 52 ***	38.39	1.05	19.57	60.31	0.73	25.36	82.38	0.53	28.34
							57.30	11.09	52.31
							82.44	0.99	40.65

ческих материалов с просмотром каждой отдельной записи.

Средние значения оценок для ЭИИ, рассчитанные для всего набора сейсмограмм с одинаковыми параметрами возбуждения, сопоставимы с соответствующими параметрами для материала от ВИ. На основании анализа всех данных для условий рассматриваемого участка в качестве оптимальных можно рекомендовать общее число воздействий на уровне 18-20.

Обработка полевого материала выполнялась в двух вариантах: с типичными параметрами, оптимизированными для данных сейсмогеологических условий, и стандартной методики полевых работ с ВИ и со специально подобранными параметрами, с учетом другого типа источника. Такой подход был необходим для более корректного сопоставления количественных оценок.

Так, например, для ЭИИ применялась более "жесткая" деконволюция, которая позволила повысить уровень высокочастотных компонент спектра (от 50 Гц и выше) и, тем самым, существенно повысить разрешающую способность сигнала. Изначально значения амплитуд спектра в указанном диапазоне были на 1-2 порядка ниже, чем на более низких частотах. На первичном же полевом материале от виброисточника уровень низких частот (до 50 Гц) превышал уровень высоких всего лишь в несколько раз. По результатам тестирования для ЭИИ была выбрана более узкая, чем для ВИ, полоса фильтрации - 14-60 Гц. Значение верхней граничной частоты полосового фильтра было снижено в целях ослабления нерегулярного шума, появившегося на записи после применения деконволюции с достаточно высоким уровнем "отбеливания".

На рис. 1 представлены сейсмограммы а также соответствующие графики АЧХ и количественные оценки. В данном случае использовалась полосовая фильтрация со стандартными параметрами (10/14-110/120 Гц).

Как видно, на записях от ЭИИ на 1-ом этапе (после АРУ) (рис. 1, А) присутствуют чрезвычайно интенсивные регулярные среднескоростные помехи ($V = 1700-2500$ м/с) с частотами до 15 Гц, а также низкочастотные "звуковые" помехи. Количественные оценки в данном случае в значительной мере реагируют на указанные волны-помехи и поэтому неинформативны. На сейсмограммах от ВИ уровень среднескоростных помех значительно ниже и годографы полезных отражений просматриваются более четко.

На 2-ом этапе (рис. 1, Б) амплитудный спектр в обоих случаях существенно расширяется. Амплитуды высокочастотных компонент (от 50 до 120 Гц) и, соответственно, значение параметра RP для ВИ заметно выше, чем для ЭИИ. Однако, как видно на сейсмограммах, это связано, в основном, с более высоким уровнем случайного шума. По этой причине по соотношению S/N запись от ВИ уступает записи от ЭИИ. Значения RPN примерно одинаковы в обоих случаях.

На 3-ем этапе (рис. 1В), после вычитания среднескоростных волн-помех, уровень амплитуд спектра в полосе подавления ФК-фильтрации (0-60

Гц) заметно уменьшается, т.к. из записи удаляются когерентные помехи на соответствующих частотах. Порядок изменений соотношения амплитуд между низкими и высокими частотами на АЧХ, вызванных применением процедуры вычитания помех, примерно одинаков для сравниваемых источников. Соотношение S/N в обоих случаях заметно улучшается, причем для ЭИИ оно возрастает примерно в 3 раза, а для ВИ - вдвое. Последнее обстоятельство связано, опять же, с исчезновением субрегулярных помех, уровень которых на сейсмограммах от ЭИИ, как уже сказано, гораздо выше. Параметр RP практически не изменяется, значение RPN увеличивается приблизительно на 50% для ЭИИ и на 40% для ВИ.

На основании проведенного анализа характера изменений волновой картины на тестовых сейсмограммах, а также АЧХ, и количественных характеристик можно сделать следующие выводы.

На сейсмограммах от ВИ уровень полезного сигнала в высокочастотной области спектра (от 90 Гц и выше) несколько меньше, чем на низких частотах. Несмотря на широкий частотный диапазон зарегистрированного сигнала (15-120 Гц - в соответствии с параметрами опорного сигнала), что отчетливо видно на АЧХ, указанная область

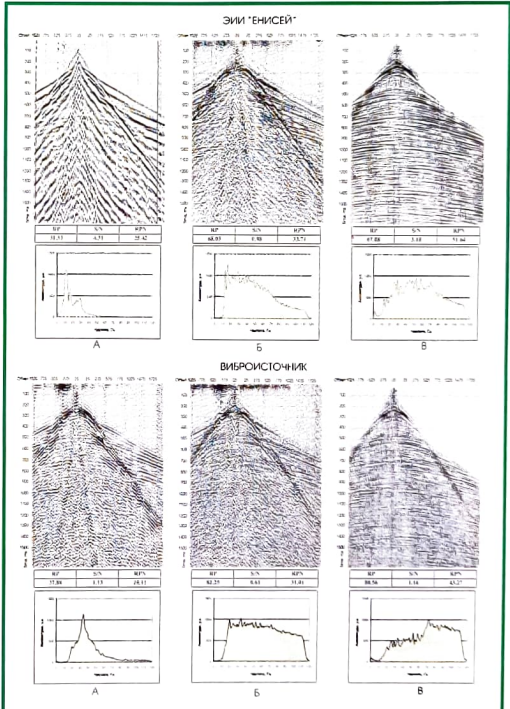


Рис. 1. Сейсмограммы, полученные разными источниками колебаний их АЧХ и количественные характеристики на разных стадиях обработки.
 А - после применения процедур АРУ;
 Б - после применения процедур АРУ, деконволюции, полосовой фильтрации 10/14-110/120 Гц;
 В - после применения процедур АРУ, деконволюции, полосовой фильтрации 10/14-110/120 Гц и вычитания среднескоростных волн-помех.

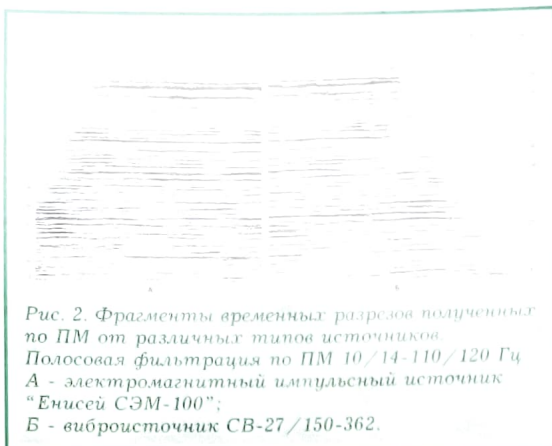


Рис. 2. Фрагменты временных разрезов полученных по ПМ от различных типов источников. Полосовая фильтрация по ПМ 10/14-110/120 Гц. А - электромагнитный импульсный источник "Енисей СЭМ-100"; Б - виброисточник СВ-27/150-362.

(90-120 Гц) содержит в основном корреляционные шумы. Это обстоятельство, по-видимому, связано как с конкретными условиями возбуждения на данном профиле (возможно, на данной площади), которые не позволяют получить на таких частотах вибрационный сигнал с допустимым уровнем фазовых искажений, так и со значительным поглощением высокочастотных компонент в геологической среде (особенно в ВЧР). Тем не менее, полосовой фильтр, применяемый к ПМ в процессе стандартной обработки, в данном случае настроен на пропускание полного (до 120 Гц) диапазона частот. Такой подход используется для успешного решения геологической задачи на отдельных участках профилей (особенно в районе объектов поиска), т.к. необходимо максимально сохранить разрешающую способность сигнала, допустив некоторое снижение соотношения S/N. Это особенно важно для детального изучения тонкослоистой внутренней структуры объекта. В случае же необходимости, к временному разрезу всегда может быть применен фильтр с более узкой полосой пропускания.

Интенсивные низкочастотные регулярные помехи, присутствующие на первичном ПМ полученным с помощью ЭИИ, в итоге полностью устраняются. Частотный диапазон полезного сигнала в случае ЭИИ ограничен сверху более низкими по сравнению с ВИ значениями - 60-70 Гц. После применения фильтров как с широкой (до 120 Гц), так и с узкой (до 70 Гц) полосами пропускания, параметр S/N для ЭИИ на окончательной стадии обработки ПМ превосходит аналогичный показатель для ВИ в 1,5-2,5 раза. Разрешающая способность полезной записи, согласно численным оценкам и судя по виду материала на сейсмограммах, несколько выше для ВИ. Однако, после получения суммарных разрезов, эти различия в значительной степени нивелируются. С точки зрения подавления некогерентного шума полосовой фильтр 14-70 Гц для ЭИИ представляется предпочтительным. Визуальная оценка сейсмического материала на сейсмограммах от ЭИИ позволяет говорить о его высоком качестве.

На рис. 2 приведены фрагменты временных разрезов ОГТ, полученных по окончательному ПМ (после ФК-фильтрации) для сравниваемых источников, обработанных с фильтрацией 10/14-110/120 Гц. Сопоставление волновых картин для двух типов источников на временных разрезах свидетельствует о небольшом преимуществе (с точки зрения разрешающей способности записи и прослеживаемости границ) вибрационного сигнала над импульсным в случае широкополосной фильтрации. При фильтрации с полосой 14 - 70 Гц качество материала на сопоставляемых фрагмен-

тах временных разрезов с позиции прослеживаемости целевых горизонтов, амплитудных и фазовых характеристик практически идентично.

Необходимо иметь в виду, что при изменении свойств ВЧР, поверхностных условий, а также в силу технических причин, высокочастотная составляющая сигнала в ряде случаев может стать более информативной. Последнее в равной мере относится как к вибрационному, так и к импульсному источнику. С учетом этого, а также в зависимости от поставленных геологических задач (когда важны либо высокая разрешающая способность записи, либо надежная прослеживаемость границ, либо сохранение динамических характеристик волнового поля и т.д.), параметры деконволюции и фильтрации всегда могут быть оптимизированы и заданы соответствующим образом на том или ином этапе обработки.

Таким образом, проведенный анализ и сравнительная оценка полученных материалов, позволяет говорить о возможности эффективного использования импульсных источников типа "Енисей" при проведении сейсморазведочных работ в условиях Сосновогорского участка и аналогичных им. Необходимо отметить, что с точки зрения сейсмогеологических условий рассматриваемый район характеризуется весьма простым строением. Так называемая "первая жесткая граница" имеет форму моноклинали, не осложнена участками размывов, поэтому и не вносит больших искажений в регистрируемое волновое поле, не вызывает и рассеяния сейсмической энергии. Исследуемый интервал разреза располагается на относительно небольшой глубине (до 1500-1700 м), целевые границы достаточно выдержаны по латерали. Рельеф местности, поверхностные условия и строение ЗМС также не создают особых проблем. Впрочем, относительно свойств ЗМС и поверхностных условий, ввиду их возможных значительных изменений, выводы можно делать только для данного конкретного периода полевых работ (возможно, даже погодных условий). Сочетание всех вышеуказанных факторов создает благоприятные предпосылки для эффективного применения на рассматриваемой территории импульсного источника с относительно невысокими энергетическими характеристиками, каким является ЭИИ "Енисей". Таким образом, существует возможность успешного решения геологических задач с применением ЭИИ указанного типа при проведении сейсморазведочных работ МОГТ-2D на данном участке.

Разумеется, сделанные выводы нельзя использовать при решении вопроса о применении таких ЭИИ в районах с другими глубинными или поверхностными сейсмогеологическими условиями. В таких случаях, безусловно, потребуются проведение соответствующих опытных работ и, возможно, изменение методики полевых наблюдений.

В дальнейшем представляется небезынтересным опробование ЭИИ на других площадях в качестве альтернативы вибрационным источникам, обладающим, как известно, целым рядом недостатков. Возможно, весьма эффективным окажется применение ЭИИ при изучении ВЧР методом преломленных волн, поскольку здесь особенно важны четкие первые вступления головных волн, которые, в большинстве случаев, обеспечивают только импульсные источники.