

Геонауки: современные вызовы и пути решений 11-я международная конференция

8-11 апреля 2024 года I Санкт-Петербург, Россия

www.geomodel.ru





Помехоустойчивость и точность локализации микротрещин при гидроразрыве пластов с помощью интеллектуального робота «АРИО»

А.А.Табаков, Ю.А.Степченков, В.Н.Ференци



Санкт-Петербург, 2024





Микросейсмический мониторинг приобретает в последние годы возрастающее значение для Контроля Трещинообразования при Гидроразрыве (КТГ), а также для контроля безопасности шахтных объектов, мониторинга газохранилищ и др.

При работах КТГ в России ощущается недостаток ПО для уверенной и помехоустойчивой локализации событий, для проектирования оптимальных параметров регистрации, а также для объективной оценки достоверности результатов обработки и интерпретации.

Разработан и использован для модельной оценки точности и помехоустойчивости локализации событий КТГ метод и алгоритмы с использованием Интеллектуального Робота (ИР) АРИО (Анализ - Решение - Исполнение - Оценка) при наблюдениях в скважине и на поверхности. Показана возможность оценки элементов методики (апертуры, количества датчиков и др.).

Использованное ПО разработано на платформе ЮНИВЕРС.



1. Наблюдения в скважине Методика



Скважинные наблюдения обладают существенным преимуществом перед наземными благодаря принципиально пониженному уровню шумов.

В то же время скважинная расстановка является линейной антенной с пониженной избирательностью в азимутальных направлениях.

Для оценки точности и помехоустойчивости полностью автоматической интеллектуальной системы АРИО выполнены модельные исследования для системы наблюдений на рисунке 1.

Рассчитаны волновые поля (Рис.2) в вертикальной наблюдательной скважине на удалении 200 м от другой вертикальной скважины из которой на глубине 1200 м моделируется последовательность источников. Последние расположены с равным шагом по окружности на горизонтальной плоскости с центром на глубине 1200 м в наблюдательной скважине. Интенсивность источников в виде короткого одностороннего сигнала частотой 60 Гц уменьшалась в 2 раза на каждой из следующих 9 позиций со сгущением в районе отношения сигнал/шум, равного единице (Табл.1).

Центр приемной косы располагался на глубине 1000 м. Приемники распределялись равномерно на заданной базе. Оценивалась точность локализации событий для разных длин базы (апертуры) и разного количества точек приема на каждой базе в зависимости от отношения сигнал/шум.

На рисунке 2 изображены волновые поля для расстановке 21 на базе 400 м в следящей компоненте.



Геометрия системы наблюдения





Рис. 1. Скважинная система наблюдения



Модельные волновые поля



Поперечные волны

Продольные волны

	Время, мс							Врем	я, мо
	0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1100	_	0 100 2	00 300	400 500	600 70	00 800 9	900	1100
800	man and the second an	800	markether & markethere & market		han and have	and a service and a	man and a second and	nandersen nandersen	mene v
900		900	adjunding of the second of the		Mary Mary	and and a second	en and and a set of the set of th	، هار الله مناطع بريانكم بر الله منظله الله بريان بالد الكارية طريع المعارية ب	anan Anana Anana
050	and have free and the second a second a second and a second and the se	9500_	an a sala and a san and	franking for some	- and a second a se	maria and a second	us as a sure and	hand and a second	سع، رسمه ۸۸ معربه
950	Construction of the second s	950_	a adam on the ada ada a	And And And		and and and	mont and a second a secon	and a contract of the second s	we www.
בי 1000 בי	man provide the and a his one particulation and the and the and the and the and the and the address of the addr	צ ¹⁰⁰⁰ - פיֿ	- man man man	man	in high war	A maria	man man	And Marine and Ma	ر منفس ب س مفر ب
1050 2	Market	1050_ 2	Marian and a second			han	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	
1100_	a far a second	<u>1100_</u> נפי	man man	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	······································	a manage and	ward and a second s	kynnernensk. Marenskank	مر بىلىمى لىغىمى مە
1150_	and a second	1150_	where a second s	A A A A A A A A A A A A A A A A A A A	and a second	mana and a second a Markan a second	Marka Maka Anger Marka Anger Marka Anger	man and a second a	مریکس مدیکھر
1200	An prove of the second of the	¥ 1200] - And Anna Jamm	2	A started and a	a da un de anno 1000	, 14, 17 and 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14, 14,		1~~1~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
	$\bullet \bullet $			* *	-				

Рис. 2. Модельные волновые поля (следящая компонента)

№ события	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сигнал/шум	10	5	2.5	1.25	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1

Таблица 1. Источники с различными отношениями сигнала к шуму



Поля вероятностей для первого события



С помощью Интеллектуального Робота (ИР) АРИО рассчитаны поля вероятностей в трех плоскостях (Рис. 3) для события из первой точки возбуждения, зарегистрированного 21-точечным зондом на базе 400 м.

Поля вероятностей иллюстрируют, что:

- неопределенность в азимутальном направлении больше, чем в радиальном;
- неопределенность для поперечных волн меньше, чем для продольных;
- имеет место существенное уточнение локализации события при совместном учете продольных и поперечных волн.



Поля вероятностей





Рис. 3. Поля вероятностей для первого события (21-точечный зонд, база 400 м, апертура 60⁰)





Изображения точек предполагаемой локализации всех девяти событий с уменьшающимся отношением сигнал/шум показывает рисунок 4:

- практически точная локализация достигается даже для отношения сигнал/шум, равного 0.2, хотя событие совершенно не обнаруживается в волновом поле;
- локализация событий по расстоянию от приемной установки практически точная, тогда как имеют место небольшие азимутальные отклонения.



Локализованные микросейсмические события





Рис. 4. Точки предполагаемой локализации событий (21-точечный зонд, база 400 м)



Выделение сигналов от событий



После локализации событий возникает возможность расчета траекторий каждого события в волновом поле и оценки для него формы сигнала, в общем случае трехкомпонентного.



Продольные волны мала Алекана Алекана Алекана Алекана



Рис. 5. Формы сигнала микросейсмических событий



Отклонения рассчитанных положений центров микросейсмических событий от заданных



На рисунке 6 показаны осредненные по 10 разным реализациям белого шума отклонения оцененных ИР АРИО координат событий от заданных для продольных и поперечных волн, а также совместно.

Как условно недостоверные отмечены оценки с отклонениями более 25 м.



Отклонения рассчитанных положений центров микросейсмических событий от заданных





№ события	Сиг./шум
1	10
2	5
3	2.5
4	1.25
5	0.8
6	0.6
7	0.4
8	0.2
9	0.1

🗙 - недостоверные наблюдения

<mark>60 45 20</mark> Апертура, град

Рис. 6. Отклонения оцененных координат событий от заданных



2. Наблюдения на поверхности Методика эксперимента



В однородной (для исключения фактора неточности знания модели среды) толще со скоростями Vp=3500 м/с и Vs=1600 м/с на глубине 1200 м моделировались события на прямой линии, начинающейся на исследуемой скважине с убывающим отношением сигнал/шум от 5 до 0,02 (Табл.2). Приемная расстановка состояла из трех лучей под 120⁰ с центром в устье исследуемой скважины (Рис. 7,8).





Продольные волны

Модельные волновые поля для одного из профилей (следящая компонента)



Поперечные волны

Время, мс Время, мс 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 -2000 -2000 -1500 -1500 -1000 -1000 -500 -500 2 👼 3 🚭 4 🚓 5 🚭 6 💭 7 🚭 8 👼 9 6 0 500 Удаление, Удаление 500 1500

Рис. 8. Модельные волновые поля (следящая компонента)

				-						
№ события	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Сигнал/шум	5	2.5	1.25	0.63	0.31	0.16	0.08	0.04	0.02	

Таблица 2. Источники с различными отношениями сигнала к шуму

15



Поля вероятностей



Поля вероятностей для первого события хорошо концентрируются вблизи точки образования, но незначительно растянуты по вертикали. Локализация улучшается для продольных и поперечных волн совместно (Рис.9).

При совместном использовании продольных и поперечных волн погрешность до 25 м достигается для 240 датчиков при с/п до 0.04 для 120 датчиков при с/п 0.08 и для 60 датчиков при с/п 0.16 (Рис.10,11).



Поля вероятностей





Рис. 9. Поля вероятностей для первого события (240 сейсмоприемников, апертура 120°)



Локализованные микросейсмические события





Рис. 10. Точки предполагаемой локализации событий (240 сейсмоприемников, апертура 1200)



Отклонения рассчитанных положений центров микросейсмических событий от заданных

60 сейсмоприемников

4 5 6

60 сейсмоприемников

60 сейсмоприемников

1 2 3 4 5 6 7 8 9

3

7 8 9

Номер события

4 5 6 7 8 9

Номер события

Номер события

1 2

1 2 3





№ события	Сиг./шум
1	5
2	2.5
3	1.25
4	0.63
5	0.31
6	0.16
7	0.08
8	0.04
9	0.02

🗙 - недостоверные наблюдения



Рис. 11. Отклонения оцененных координат событий от заданных





1. Технология локализации очагов трещинообразования при мониторинге гидроразрыва с помощью интеллектуального робота АРИО обеспечивает высокую точность автоматического обнаружения и локализации при хорошей помехоустойчивости. Это открывает возможность наблюдения за образованием трещин в реальном времени.

2. При скважинных наблюдениях обеспечивается более высокая точность локализации по удалению и меньшая по азимуту.

3. Точность и помехоустойчивость возрастает при совместном использовании продольных и поперечных волн. Последние из-за большой кривизны обеспечивают более точную локализацию в пространстве вероятностей.

4. Увеличение количества точек наблюдения приводит практически к линейному повышению помехоустойчивости.





Разработанная методика и технология локализации микросейсмических событий с помощью интеллектуального робота АРИО может применяться:

1. Для контроля трещинообразования при гидроразрыве в реальном времени с высокой точностью и помехоустойчивостью.

2. При проектировании работ по Контролю Трещинообразования при Гидроразрыве (КТГ), для выбора параметров методики полевых работ и для оценки достоверности результатов обработки и интерпретации данных КТГ.