

КОМПЕНСАЦИЯ НЕСИНХРОННОСТИ ЗАПИСЕЙ ДЛЯ СКВАЖИННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ УСЛОВИИ VTI АНИЗОТРОПИИ СРЕДЫ

Сергей Владимирович Яскевич

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории динамических проблем сейсмологии e-mail: yaskevichsv@gmail.com

Антон Альбертович Дучков

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, кандидат физико-математических наук, зав. лабораторией динамических проблем сейсмологии, e-mail: duchkovaa@ipgg.sbras.ru

Скважинный микросейсмический мониторинг иногда включает установку нескольких скважинных систем наблюдения. Одним из ключевых требований к оборудованию является точная синхронизация полученных записей. Обычно эта задача решается на аппаратном уровне, и в случае идеальных наблюдений дополнительные процедуры исправления не требуются. В некоторых случаях, аппаратная синхронизация сбивается, и для правильного использования наблюдаемых данных необходимо компенсировать смещение в синхронизации, также эта компенсация необходима, когда информация синхронизации теряется во время хранения и передачи данных. В этой работе мы предлагаем ввести в инверсию дополнительный параметр, отвечающий за несинхронные записи, и показать, что в случае простой модели среды эта несинхронность может быть определена непосредственно по данным. Мы также исследуем здесь зависимость точности определения сдвигов синхронизации в зависимости от сложности среды и геометрии системы наблюдений.

Ключевые слова: микросейсмический мониторинг, обработка данных, скоростная модель, время, синхронизация.

COMPENSATION OF NON-SYNCHRONICITY OF RECORDS FOR DOWNHOLE MICROSEISMIC MONITORING SYSTEMS IN CASE OF VTI MEDIA ANIZOTROPY

Sergey V. Yaskevich

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Researcher, e-mail: yaskevichsv@gmail.com

Anton A. Duchkov

Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D., Head of Laboratory, e-mail: duchkovaa@ipgg.sbras.ru

Downhole microseismic monitoring sometimes includes the installation of several downhole surveillance systems. One of the key hardware requirements is accurate synchronization of the records received. Usually this problem is solved at the hardware level, and in the case of ideal observations, additional correction procedures are not required. In some cases, hardware synchronization is lost, and for the correct use of the observed data, it is necessary to compensate for the shift in synchronization; this compensation is also necessary when synchronization information is lost during data storage and transmission. In this paper, we propose to introduce into inversion an additional

parameter responsible for asynchronous recordings and to show that in the case of a simple medium model, this asynchrony can be determined directly from the data. Here we also investigate the dependence of the accuracy of determining synchronization shifts depending on the complexity of the media and the geometry of the observation system.

Key words: microseismic monitoring, data processing, absolute time, velocity model.

Введение

Микросейсмический мониторинг – технология, направленная на изучение операций, производимых при активном воздействии на геосреду. Основная идея технологии – связать наблюдаемые слабые землетрясения (микросейсмические события) с соответствующим процессом. Наиболее часто упоминаемым воздействием такого рода является гидроразрыв пласта (ГРП). Для самих наблюдений иногда требуется размещение системы наблюдений (скважинных сейсмоприемников) в непосредственной близости к процессу - в близлежащей скважине или скважинах. Также применяются наземные и заглубленные системы наблюдений или различные их комбинации.

При скважинном микросейсмическом мониторинге ГРП среди наблюдаемых событий выделяются события типа «падение-шара» (воздействия внутри компоновки для ГРП активизирующие порт закачки путем выстреливания в него под давлением шара), перфорации ствола скважины (при альтернативном варианте завершения ствола скважины) и сами микросейсмические события – происходящие в области развития трещины ГРП. Несомненность возникновения таких событий в области развивающейся трещины или в прилегающих к процессу ГРП активизируемых разломах, подтверждается многочисленными наблюдениями, интерпретация которых вполне однозначна (Rutledge and Phillips, 2003) [1]. Для повышения точности локализации и достоверного определения механизмов в очаге микросейсмических событий стали все больше применять системы наблюдений, состоящие из нескольких наблюдательных скважин (Ardakani et al. 2018 [2]; Yang and Zoback 2014 [3]), при этом каждая наблюдательная скважина подключена к своей регистрирующей станции.

После включения сейсмическая запись идет непрерывно, при этом записываются 10 секундные SEG-Y файлы. Точность временной привязки их к абсолютному времени по GPS должна составлять 10^{-6} с, однако в некоторых случаях синхронизация к абсолютному времени сбивается или «плавает». Первый случай несинхронности записей исследовался в работе (Яскевич и Дучков, 2018 [5]). В данной работе мы изучаем возможность определения плавающей несинхронности по данным и компенсации ее в процессе обработки. По сути, такая задача сводится к добавлению новых переменных (неизвестного сдвига синхронизации для каждого события). Пример определения продемонстрирован в нашей работе, также изучено влияние системы наблюдений и влияние анизотропности скоростной модели.

Метод

В этой работе мы осуществляем локацию микросейсмических событий также, как и в наших предыдущих работах одновременно с определением параметров скоростной модели среды. В данном случае рассматривалась слоисто изотропная модель среды. Неизвестными параметрами в данном случае являются координаты событий \mathbf{x}_e ($e=1, \dots, N$, N – общее число событий) и времена их возникновения t_{0e} , V_P и V_S каждого из слоев модели среды, а также Δt_e – поправка в наблюдаемые по данным одной из регистрирующих расстановок времена прихода волн, для конкретного микросейсмического события. Таким образом, вектор параметров модели выглядит как:

$$\mathbf{m} = (\mathbf{x}_e, t_{0e}, \Delta t_e, V_P, V_S).$$

Для решения обратной кинематической задачи (локации микросейсмических событий одновременно с поиском) мы используем оптимизационную постановку, т.е. минимизируем функционал невязки:

$$F(\mathbf{m}) = \left\| \mathbf{t}_k^{data} - \mathbf{t}^{syn}(\mathbf{m}) \right\| \xrightarrow{\min} \mathbf{m}_k$$

где \mathbf{t}^{data} – измеренные времена прихода волн, \mathbf{t}^{syn} – времена прихода, рассчитанные лучевым методом (двухточечное лучевое трассирование) для модели. Синтетические времена пробега рассчитываются посредством двухточечного лучевого трассирования. В этой работе результаты получены только на синтетических данных поэтому \mathbf{t}^{data} – это тоже синтетические времена, представленные рассчитанным набором времен, для придания им реалистичности в них добавляется шум. Рассчитывается множество инверсий с внесенным различным шумом в данные. Изображение результатов этих инверсий предлагается воспринимать как оценку устойчивости определения параметров модели.

Пример

Рассмотрим в качестве примера пример две наблюдательные скважины и четыре микросейсмических события, расположенные в однородной модели среды (рис. 1). События специально расставлены в ряд, имитируя простейшую линейную геометрию трещины ГРП. Вертикальные наблюдательные скважины содержат по 16 сейсмоприемников с шагом 20 м по вертикали. При численных экспериментах система наблюдений изменяется путем разнесения наблюдательных скважин в разные стороны, с квантом разнесения по 50 м. Величины сдвигов синхронизации составляют $[-0,005 \ 0,0017 \ 0,0055 \ 0,008]$. Инверсия с пренебрежением несинхронности записей приводит к систематическим ошибкам локализации и увеличенному значению функционала невязки (порядка 2 мс).

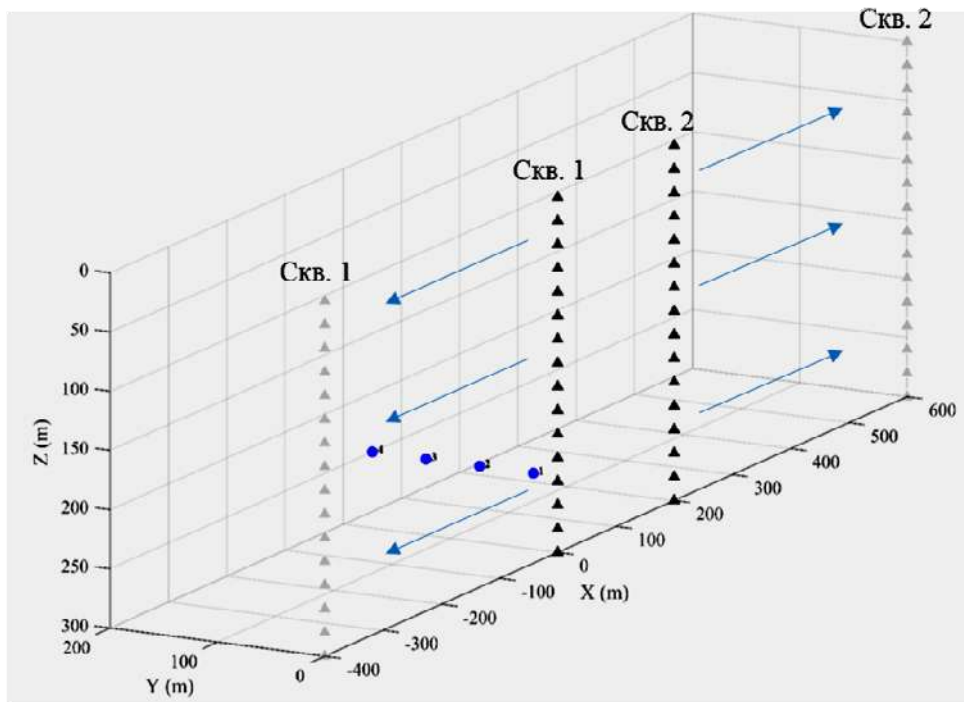


Рис. 1. Треугольные маркеры показывают положения сейсмоприемников в наблюдательных скважинах, черным цветом – начальное положение, серым конечное положение, стрелочки обозначают направление перемещения, круглые маркеры показывают положения микросейсмических событий (X координата событий одинаковая -50 м)

Стандартные отклонения результатов инверсии для изотропной модели показаны на рис. 2. На рис. 2 видно, что стандартные отклонения определения параметров модели растут при ухудшении системы наблюдений.

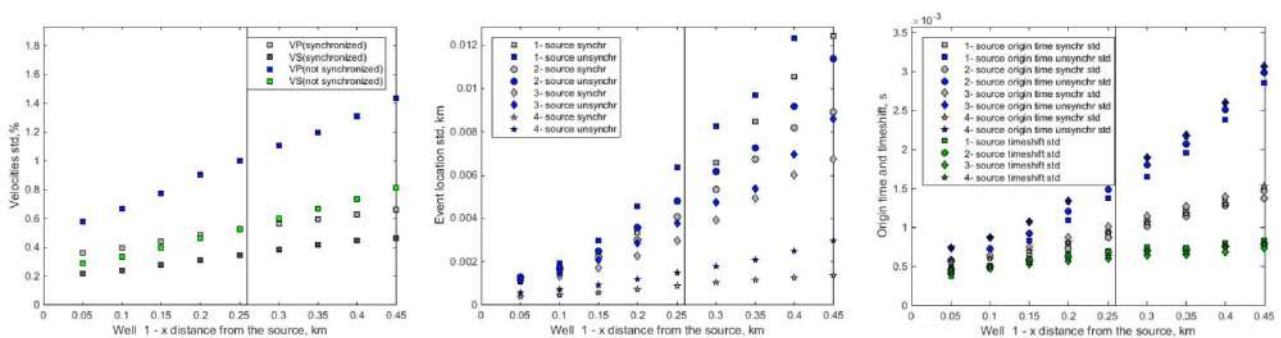


Рис. 2. Стандартные отклонения параметров в случае инверсии (в изотропной среде) синхронных (серые маркеры) / несинхронных наблюдений (цветные маркеры) в зависимости от удаления наблюдательных скважин (по оси X расстояние от Скв. 1 до ближнего из событий). Слева стандартные отклонения скоростей, посередине стандартные отклонения локаций (в направлении Y – самые большие), справа стандартные отклонения сдвига синхронизации и времени в источнике

Видно, что в изотропной модели среды разброс определения параметров значительно больше для несинхронного случая, при этом находится в допустимых пределах, погрешность определения скоростей варьирует от 1% до 2%, погрешность определения времен в источнике растет от 1 до 2-3 мс. При этом увеличение погрешности локации при рассинхронизации системы наблюдений пренебрежимо мало. Результаты, полученные в анизотропной VTI модели среды сильно отличаются (рис. 3) - усложнение модели приводит к тому, что существенно растут погрешности, как в определении сдвигов синхронизации так и в определении параметров модели. В отличие от изотропной модели среды растут не только погрешности определения скоростей, но и погрешности локализаций микро-сейсмических событий.

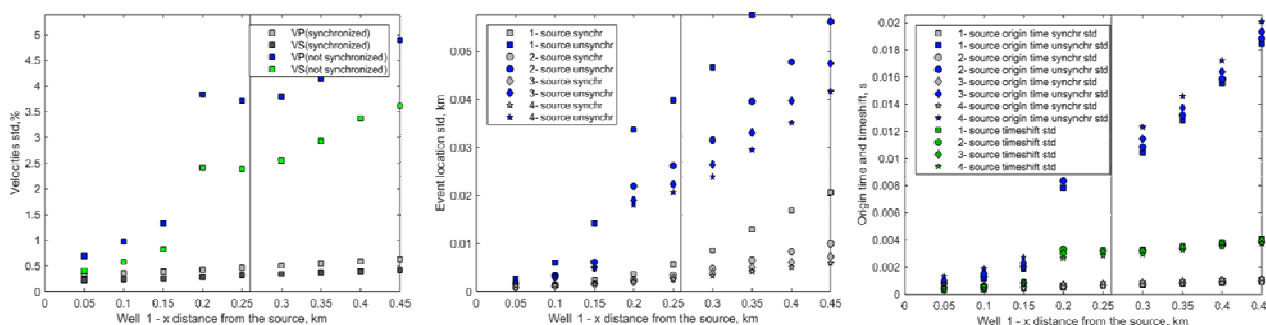


Рис. 3. Стандартные отклонения параметров в случае инверсии (в анизотропной среде) синхронных (серые маркеры) / несинхронных наблюдений (цветные маркеры) в зависимости от удаления наблюдательных скважин (по оси X расстояние от скв. 1 до x координаты событий). Слева стандартные отклонения скоростей, посередине стандартные отклонения локаций, справа стандартные отклонения сдвига синхронизации и времени в источнике

Выводы

По результатам численных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- 1) Неучет сдвигов синхронизации приводит к увеличенным значениям функционала и систематически смещенным локациям событий.
- 2) Сдвиги синхронизации могут быть восстановлены в рамках решения обратной задачи - надежность их оценки сильно зависит от системы наблюдений.
- 3) Сложность среды (включая сейсмическую анизотропию) влияет на способность восстанавливать сдвиги синхронизации – чем сложнее среда, тем хуже определяются сдвиги в синхронизации.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0009 «Динамический анализ сейсмических данных для построения реалистичных моде-

лей геологической среды на основе математического и физического моделирования» АААА-А16-116122910023-6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rutledge J. Phillips W. Hydraulic stimulation of natural fractures as revealed by induced microearthquakes, Carthage Cotton Valley gas field, East Texas: Geophysics. - 2003.- 2 : -Vol. 68.- P. 441–452.
2. Effectiveness of Geometric Versus Variable Shot Clusters to Stimulate a Percolating Crack Network Capable of Sustaining Flow / E.P. Ardakani, A.M Baig, T. I. Urbancic, , D. Kahn, J. Rich, D. Langton, K. Silver // (2018, January 23) SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference and Exhibition. – Society of Petroleum Engineers, 2018, SPE-189848-MS.
3. Yang Y., Zoback M. D. The role of preexisting fractures and faults during multistage hydraulic fracturing in the Bakken Formation // Interpretation. – 2014. – Vol. 2. – №. 3. – P. SG25-SG39.
4. Yaskevich, S.V., Grechka, V.Y., Duchkov, A.A. Processing microseismic monitoring data, considering seismic anisotropy of rocks // Journal of Mining Science, – 2015, – Vol. 51 (3). – P. 477-486.

© С. В. Яскевич, А. А. Дучков, 2019