

УДК 550.834.045:624

© В.В. Романов

В.В. Романов

ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Введение

Сейсмическая информация представляется в виде сейсмограмм, которые в свою очередь состоят из последовательности сейсмических трасс, объединенных общим признаком, например пунктом возбуждения. Каждая трасса в цифровой форме содержит информацию о тех колебательных процессах, которые в течение времени регистрации испытывал корпус приемника. Цифровые сигналы, которые хранят сейсмограммы, описываются функцией дискретного времени и конечным множеством возможных значений. Точность воспроизведения непрерывных сейсмических сигналов в цифровой форме зависит от двух параметров АЦП (аналого-цифрового преобразователя) – шага дискретизации и разрядности. Первая величина определяет интервал времени, через который АЦП проводит мгновенную оценку уровня аналогового сигнала. Полученное значение раскладывается на цифры двоичного кода при помощи сравнения его с магазином эталонных напряжений. Разрядность АЦП в битах задает диапазон и количество возможных значений цифрового сигнала. На рис. 1 показаны принципиальные различия между цифровым и аналоговым типом сигналов [5].

В инженерной сейсморазведке все больший интерес вызывают отраженные волны, которые выделяются в последующих вступлениях на фоне

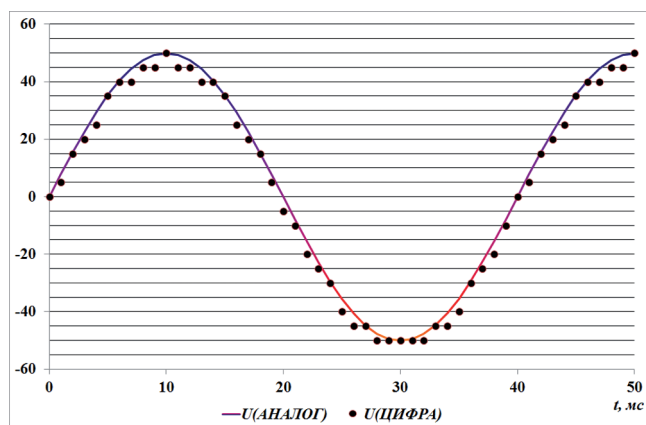


Рис. 1. Сравнение аналогового и цифрового сейсмического сигнала. Горизонтальными линиями изображены возможные уровни цифрового сигнала, следующие через интервал квантования

волн-спутников преломленных волн и значительно интерферируют между собой (рис. 2). Одним из способов повышения разрешающей способности является дифференцирование сейсмограмм [1]. Трассы, зарегистрированные стандартными приемниками сейсморазведки – велосиметрами, после дифференцирования соответствуют записям приемников ускорения. Данные последних лет подтверждают большую детальность сейсмических разрезов, полученных при помощи датчиков ускорения – акселерометров [4]. Для инженерной сейсморазведки замена велосиметров на акселерометры пока непозволительная роскошь, но применение к зарегистрированным данным дифференцирования позволяет сделать это виртуально.

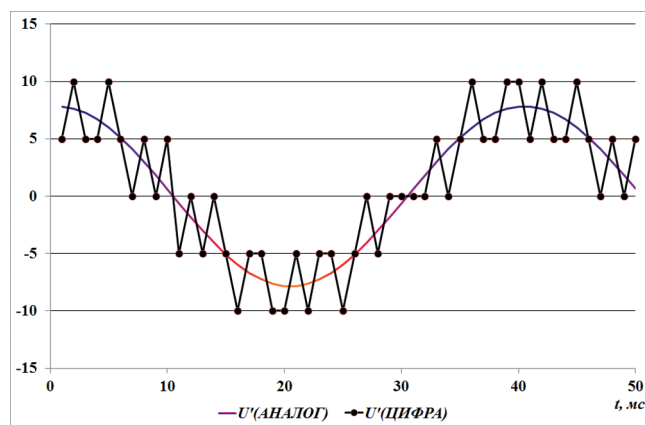


Рис. 2. Сейсмограмма до обработки. Участок записи в последующих вступлениях, выделенный стрелкой, содержит несколько осей синфазности, не разрешенных из-за интерференции

Дифференцирование является одной из наиболее простых и эффективных процедур повышения разрешающей способности инженерной сейсморазведки, так как оно не требует никакой исходной информации, кроме самих сейсмограмм. Аналогичная процедура вычисления производной реализована в компьютерной технологии КОСКАД-3Д Петрова А.В. в связи с обработкой гравимагнитных геофизических данных [3].

Методы дифференцирования дискретных записей

Дифференцирование методом первых разностей

При попытке взять первую или последующие производные сейсмической трассы неожиданным образом проявляется дискретная природа цифровых данных. Производные дискретных сейсмических трасс вычисляются при помощи метода первых разностей [2]. Вычисление производной находится вычитанием из каждого последующего значения сигнала предыдущего с нормировкой на шаг дискретизации.

$$\frac{\partial U}{\partial t} \approx \frac{U_{i+1} - U_i}{\Delta t}$$

Реализация метода первых разностей «в лоб» на базе в один шаг дискретизации при ограниченной разрядности АЦП приводит к появлению специфических осциллирующих помех. Причина образования таких помех в дискретности цифровых сигналов по уровню. Часто изменения сигнала в течение одного шага дискретизации настолько малы, что не выходят за пределы интервала квантования ΔU . Неизбежные ошибки округления при расчете производной вызывают колебания с относительными значениями $-\Delta U, 0, +\Delta U$ (рис. 3).

На полевых записях описываемый эффект особенно четко виден области до первых вступлений, где преобладают микросейсмические колебания и аппаратные шумы. С удалением от источника по мере ослабления сигнала артефакты дифференцирования возникают и в последующих вступлениях. Появление новых осей синфазности, до дифференцирования неразрешенных, во многом перечеркивается

неконтролируемым возрастанием помех, связанных с несовершенством технологии нахождения производной (рис. 4).

Дифференцирование на базе в несколько отсчетов

Решением проблемы является использование более протяженных баз дифференцирования – в три, пять, семь и далее шагов дискретизации (рис. 5).

Выборка из нескольких соседних значений сигнала аппроксимируется прямой линией, наклон которой равен производной на выбранной базе. Вычисленное значение относится к центру базы и окно дифференцирования перемещается на один отсчет вперед. Применение метода первых разностей на базе из нескольких значений сигнала практически не сопровождается возникновением осциллирующих помех (рис. 6).

Дифференцирование со сглаживанием

К аналогичному результату приводит предварительная обработка сейсмограмм до дифференцирования с целью сглаживания функции сейсмотрасс. Сглаживание реализуется как простым осреднением данных в коротком окне, так и более сложными алгоритмами низкочастотной фильтрации на основе преобразования Фурье и вейвлет-анализа. Эффект во всех случаях будет примерно одинаковым (рис. 7).

Дифференцирование в спектральной области с настройкой частоты

В частотной области дифференцирование проводится умножением спектра трассы на множитель $-i\omega$. Умножение спектра на мнимую единицу

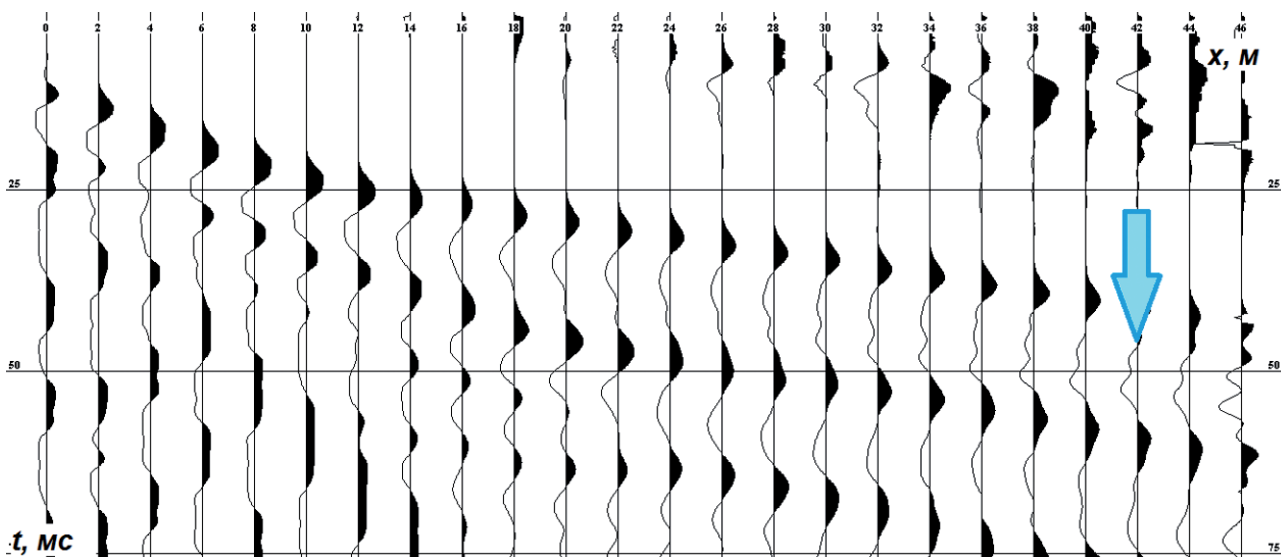


Рис. 3. Дифференцирование аналогового и цифрового сигнала. Заметно появление осциллирующей помехи на продифференцированной цифровой сейсмотрассе

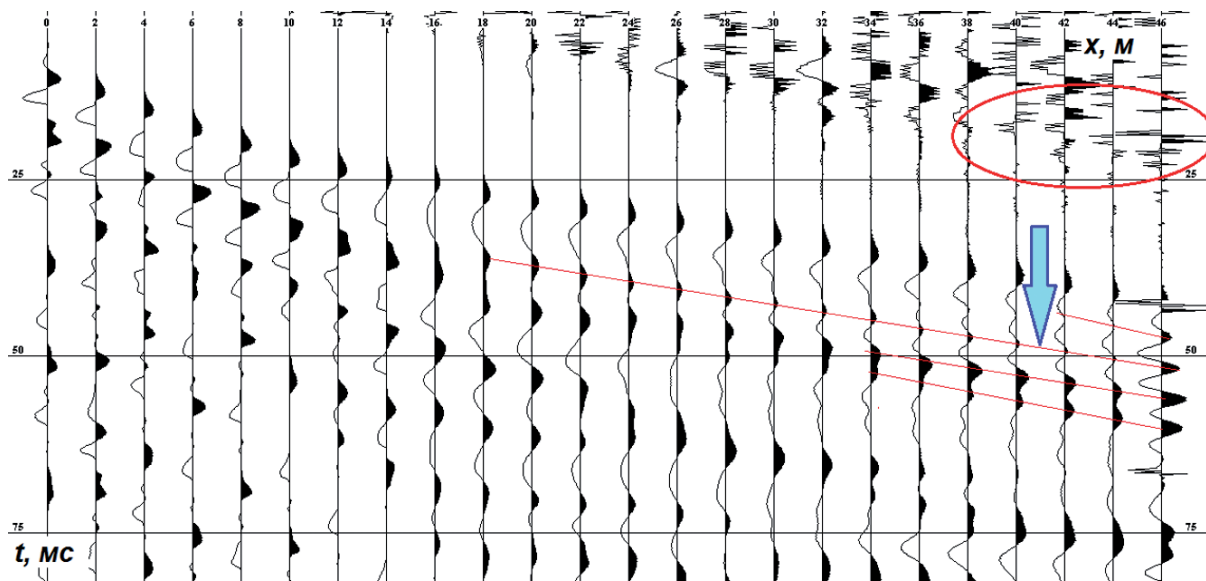


Рис. 4. Сейсмограмма после взятия первой производной от сейсмических трасс. Овалом выделены артефакты дифференцирования. Запись произведена сейсмической станцией Диоген 24/14, с разрядностью АЦП 14 бит. Стрелкой и тонкими линиями показаны выделенные оси синфазности

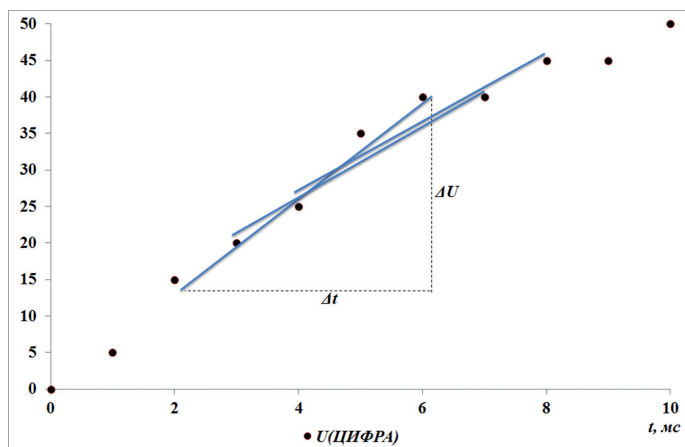


Рис. 5. Дифференцирование на базе в 5 шагов дискретизации

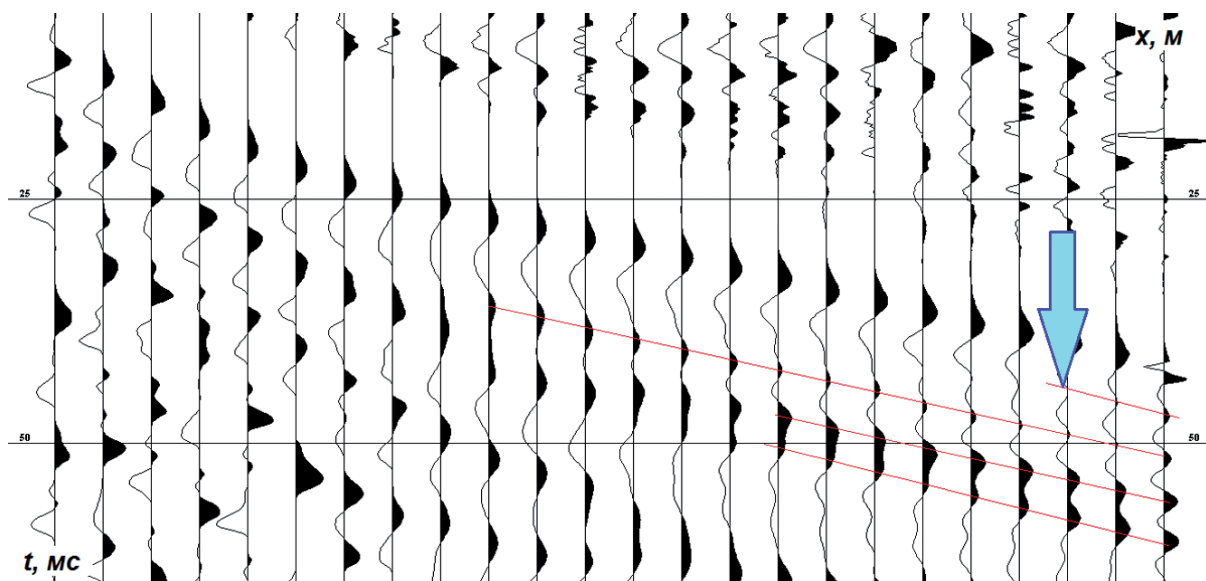


Рис. 6. Сейсмограмма, продифференцированная методом первых разностей на базе в 5 шагов дискретизации. Осцилляции уровня до первых вступлений имеют намного меньший уровень. Стрелкой и тонкими линиями показаны выделенные оси синфазности

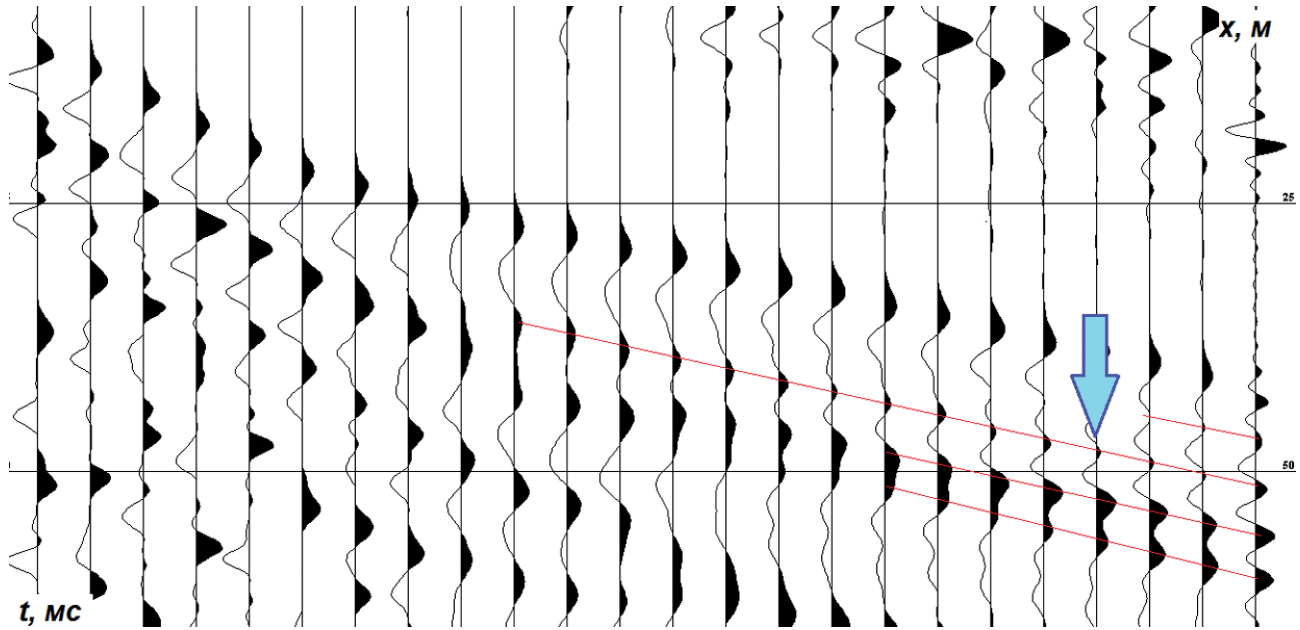


Рис. 7. Сейсмограмма после сглаживания низкочастотным фильтром с граничной частотой 400 Гц и дифференцирования на базе в один шаг дискретизации. Стрелкой и тонкими линиями показаны выделенные оси синфазности

смещает все гармоники спектра на четверть периода назад во времени, а множитель ω (круговая частота спектра) играет роль фильтра высоких частот. Исходя из этого, помехоустойчивость дифференцирования повышается заменой частотного множителя ω на характеристику ФВЧ с настраиваемой граничной частотой (рис. 8).

Высокочастотная частотная фильтрация с подбираемой граничной частотой – гибкий инструмент, способный полностью заменить дифференцирование для увеличения временной разрешенности сейсмограмм [6]. На рис. 9 отражены положительные эффекты, проявившиеся после применения ФВЧ с линейным возрастанием характеристики. Артефакты

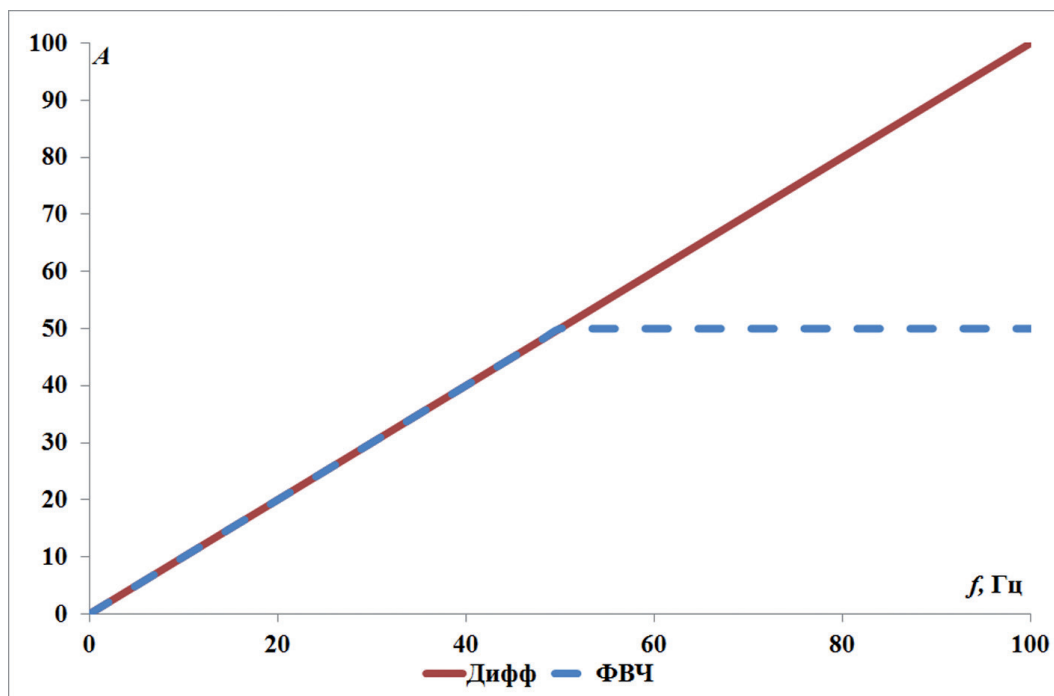


Рис. 8. Дифференцирование в спектральной области (Дифф) и высокочастотная фильтрация (ФВЧ) с граничной частотой в 50 Гц

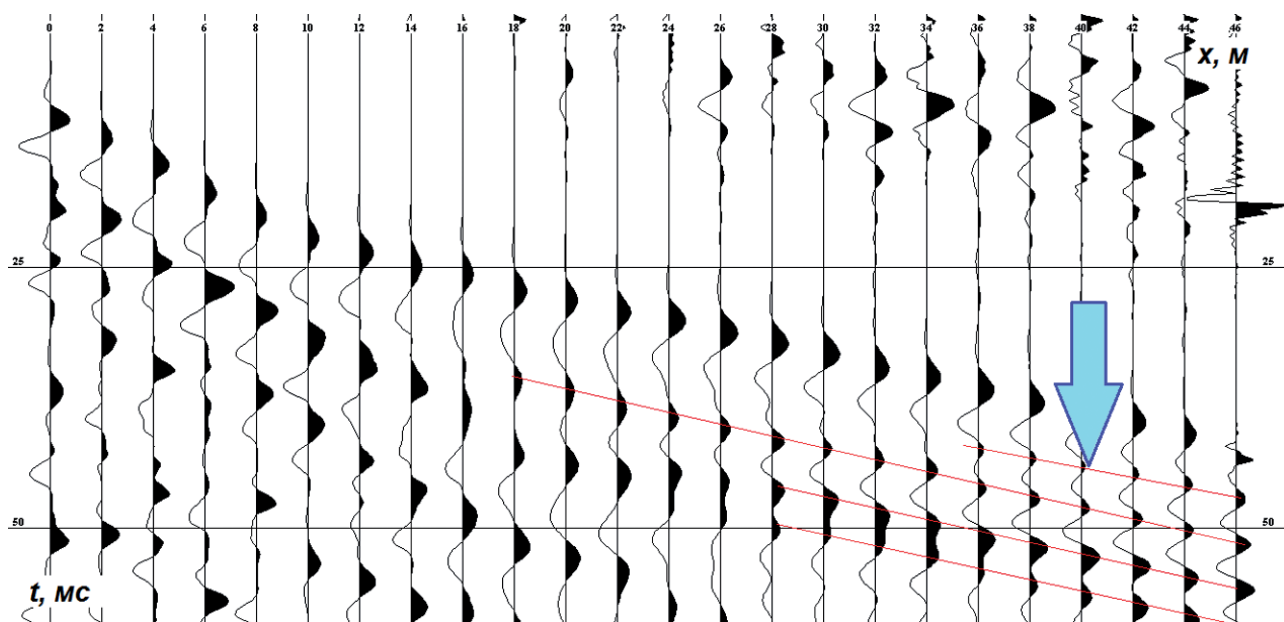


Рис. 9. Сейсмограмма после ФВЧ с граничной частотой 250 Гц. Стрелкой и тонкими линиями показаны выделенные оси синфазности. Проявилось наибольшее количество осей синфазности, по сравнению с другими способами, изложенными в статье

дифференцирования при фильтрации не возникают, поскольку действие фильтра ограничено в заданной полосе. Большинство осей синфазности, которые интерферировали до обработки «проступили» за счет уменьшения длительности импульсов и повышения собственной частоты колебаний.

Выводы

1. Дифференцирование – действенный и простой инструмент разрешения на сейсмической записи волн с близкими временами вступления.
2. Дифференцирование дискретных сейсмических записей сопряжено с определенными трудностями, связанными в первую очередь с квантованием сигнала по уровню.
3. Дифференцирование сейсмограмм методом первых разностей производится на базах от 5 отчетов с последующей аппроксимацией отрезков функции сейсмической трассы отрезками прямой и нахождением наклона этих прямых.
4. На меньших базах дифференцирование выполняется только при предварительном сглаживании данных, иначе возникает значительное возрастание уровня высокочастотных помех.
5. Замена дифференцирования на высокочастотную фильтрацию с линейным возрастанием характеристики до некоторого заданного уровня для сейсмограммы, приведенной в статье, дало существенный положительный эффект.

Ключевые слова: сейсморазведка, обработка, дифференцирование, дискретные функции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамкин Е.А. Повышение разрешающей способности сейсмограмм путем дифференцирования исходного сигнала // Инженерная и рудная геофизика : материалы VI научно-практической конференции (Геленджик, Россия, 26-30 апреля 2010 г.). – Геленджик, 2010.
7. Мареев В. В., Станкова Е.Н. Основы методов конечных разностей. – СПб. : Изд-во С-Петербургского университета, 2012. – 64 с.
8. Петров А.В., Трусов А.А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации КОСКАД 3D // Геофизика. – 2000. – № 4. – С. 29-33.
9. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию. – Новосибирск : НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1997. – 301 с.
10. Рапопорт М.Б. Вычислительная техника в полевой геофизике : учебник для вузов. – М. : Недра, 1993. – 350 с.
11. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн // Технологии сейсморазведки. – № 4. – 2013. – С. 67-73.