

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

В. П. ИВАНЧЕНКОВ, А. М. КУВШИНОВ, В. А. ФИЛИНОВА

(Представлена семинаром ЛВТА НИИЯФ)

Одной из важнейших задач при интерпретации сейсмических материалов является прослеживание записей колебаний, вызываемых одной и той же волной, от одной точки регистрации к другой. Этот процесс есть не что иное, как корреляционная обработка, и здесь в качестве корреляционного анализатора выступает человек. Причем в этом случае производится двойная корреляция сейсмозаписей. Это корреляция при выделении определенной группы волн на одной сейсмоплентке, во-первых, и выделение из осей синфазности по многим сейсмограммам тех, которые соответствуют определенным стратиграфическим горизонтам, во-вторых. Корреляция волн представляет одну из наиболее трудоемких операций, поэтому разработка алгоритмов автоматической корреляции волн представляет большой практический интерес [1]. Большой объем информации, содержащейся в сейсмических записях, даже при использовании мощных ЭЦВМ, заставляет искать упрощенные приемы и более совершенные технические методы осуществления корреляционного анализа.

В предлагаемой статье рассматривается разработанный нами алгоритм, позволяющий осуществлять автоматическую корреляцию сейсмических волн и по данным корреляционной обработки производить построение сжатого сейсмического разреза.

Рассмотрение производится для материалов, полученных методом отраженных волн (МОВ), хотя разработанный алгоритм может быть также использован для обработки данных, полученных другими методами, например, ОГТ.

Отдельную трассу сейсмограммы на выходе АРУ можно представлять как сумму двух независимых процессов: «сигнального» $Z(t)$, представляющего собой наложение большого числа импульсов одинаковой формы, и шума $N(t)$ [2].

$$X(t) = Z(t) + N(t), \quad (1)$$

где $Z(t) = \sum_k a_k S(t - t_k)$;

$S(t)$ — форма отдельного импульса;

a_k — амплитуда импульса;

t_k — время прихода.

При этом для совокупности записей, полученных в точках приема $x_1=0; x_2, \dots, x_N$. $Z(t)$ в точке x запишется как

$$Z(t, x) = \sum_k a_k S[t - t_k - \Delta t_k(x)], \quad (2)$$

где t_k — время прихода k -й волны в точку приема $x_1=0$;

$\Delta t_k(x)$ — приращение времен географов отраженных волн.

Времена t_k , согласно экспериментальным данным [2], образуют пуассоновский процесс. Разобьем N трасс одной сейсмограммы на несколько достаточно протяженных участков m с временным интервалом T , в пределах которых трассы $x_1(t), x_2(t), \dots, x_N(t)$ можно считать стационарным случайным процессом.

Тогда оценка взаимной корреляционной функции соседних трасс может быть записана

$$B_{x_1, x_2}(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x_1(t) \cdot x_2(t + \tau) dt. \quad (3)$$

Сущность принятого нами алгоритма будет заключаться в следующем. В процессе обработки производится попарное вычисление оценок функций взаимной корреляции $B_{x_1, x_2}(\tau), B_{x_2, x_3}(\tau), \dots, B_{x_{N-1}, x_N}(\tau)$ при соответствующей фильтрации трасс для первого участка сейсмограммы. В дальнейшем осуществляется поиск положения главных максимумов функции взаимной корреляции трасс $B_{x_i, x_j}(\tau)$ и определение временных сдвигов τ_m^{ij} , при которых $B_{x_i, x_j}(\tau)$ достигают своего экстремального значения. Вычисленные значения τ_m^{ij} являются оценкой среднего сдвига $\Delta t_{k, \text{ср.}}^{ij}$ между трассами для выбранного участка m :

$$\Delta t_{k, \text{ср.}}^{ij} = \tau_m^{ij} + \xi, \quad (4)$$

ξ — погрешность вычисления среднего сдвига $\Delta t_{k, \text{ср.}}^{ij}$.

Как показано в [2], нахождение среднего сдвига между трассами по максимуму функции взаимной корреляции является асимптотически оптимальной процедурой оценки указанного сдвига. Для повышения надежности вычисления τ_m^{ij} при определении функций взаимной корреляции вводится ограничение на изменение задержки τ , определяемое максимальным сдвигом волн на сейсмограмме:

$$|\tau| \leq \rho. \quad (5)$$

Для первого участка сейсмограммы осуществляется направленное суммирование трасс в соответствии с вычисленным значением τ , т. е. определяется суммарный сигнал при определенных временных сдвигах τ_m^{ij} :

$$F(t) = \sum_{i=1}^N x_i(t + \tau_m^{ij}). \quad (6)$$

Затем производится поиск максимальных разрастаний суммарного сигнала при некотором заданном пороге n и определение их временных положений. Указанная процедура повторяется для последующих участков сейсмограммы, и производится увязка полученных результа-

тов в соответствии с номером участка m . При увязке отдельных участков суммирование трасс для каждого из них осуществляется не на всем временном интервале T , а на интервале $T' < T$. При этом T' может выбираться, например, из соотношения:

$$T = T' + t_b, \quad (7)$$

где t_b — видимый период колебаний сейсмической волны.

Указанный критерий исключает потери информации при прослеживании волн на концах участка.

Следует отметить, что средний сдвиг между трассами, определяемый в нашем случае по функциям взаимной корреляции, может зависеть от нескольких неизвестных параметров. Так, при малых углах наклона горизонта он будет определять статическую и усредненную кинематическую поправку. Последнее позволяет осуществлять обработку сейсмозаписи без предварительного ввода статических и кинематических поправок.

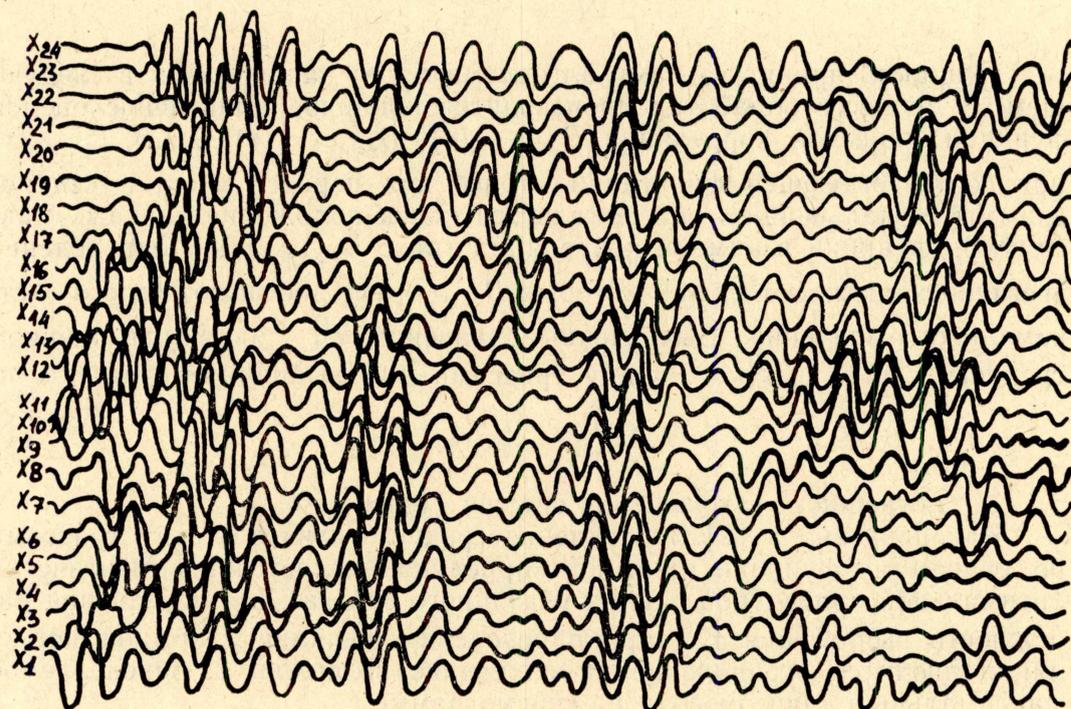


Рис. 1. Участок обрабатываемой сейсмограммы

С целью определения эффективности предложенного алгоритма было проведено его исследование на ЭЦВМ БЭСМ-4 по материалам Томского геофизического треста.

При проверке алгоритма ставилась задача оценки точности определения среднего сдвига τ_m^{ij} по главному максимуму (минимуму) функции взаимной корреляции сейсмотрасс и определения возможности дальнейшего использования результатов корреляционного анализа для выделения регулярных волн путем направленного суммирования (умножения) сейсмозаписей.

Для обработки выбирались участки сейсмограмм профиля 72.3.14, включающие 8 трасс, на которых прослеживалась группа колебаний, относящихся к одной волне (рис. 1). Оцифровка сеймотрасс проводилась с дискретностью отсчетов 1,67 мсек. В табл. 1 даны

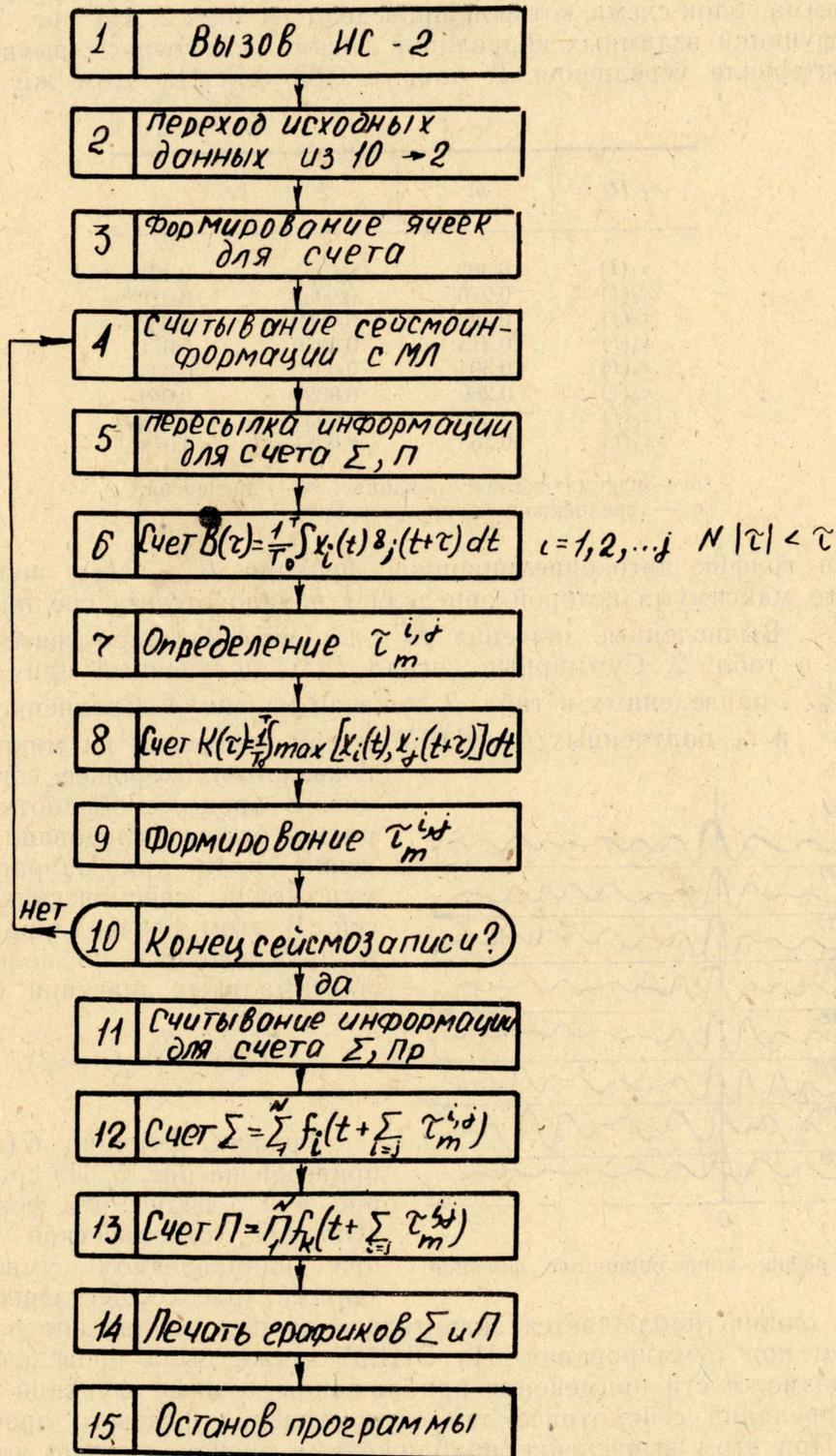


Рис. 2. Блок-схема программы

статистические характеристики для восьми сеймотрасс, вычисленные на БЭСМ-4.

Для исследования предложенного алгоритма была разработана программа, блок-схема которой приведена на рис. 2. На рис. 3 приведены функции взаимных корреляций восьми сеймотрасс, вычисленные при интервале усреднения T , равном 0,83 сек. На этом же рисунке

Таблица 1

$x_i(t)$	m	σ^2	σ
$x_1(t)$	0,308	0,014	0,121
$x_2(t)$	0,276	0,0052	0,072
$x_3(t)$	0,297	0,0069	0,083
$x_4(t)$	0,313	0,0050	0,071
$x_5(t)$	0,304	0,0070	0,084
$x_6(t)$	0,269	0,0029	0,054
$x_7(t)$	0,265	0,0035	0,059
$x_8(t)$	0,263	0,0061	0,078

m — математическое ожидание; σ^2 — дисперсия;
 σ — среднеквадратичное отклонение.

показан график автокорреляционной функции $B_{x_i, x_i}(\tau)$, положение главного максимума которой определяет начало отсчета средних сдвигов τ_m^{ij} . Вычисленные значения τ_m^{ij} для участка сейсмограммы приведены в табл. 2. Суммарный сигнал $F(t)$, полученный при сдвигах волн τ_m^{ij} , приведенных в табл. 2, показан на рис. 4. Сравнение значений τ_m^{ij} и t_0 , полученных на ЭЦВМ и при измерении на микроскопе,

показало их хорошее согласование. В процессе обработки алгоритма было исследовано разрешение волн при направленном умножении сейсмических записей. В этом случае определение t_0 производилось по положению максимальных значений сигнала

$$G(t) = \prod_{i=1}^N x_i(t + \tau_m^{ij}). \quad (8)$$

График функции $G(t)$ приведен на рис. 5. Из сравнения рис. 4 и 5 видно, что форма регулярной сейсмической волны при направленном умножении записей трасс существенно иска-

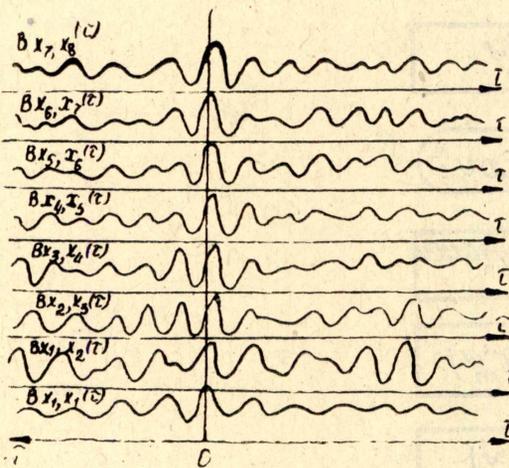


Рис. 3. График корреляционных функций.

жается, однако наблюдается значительно лучшее подавление волн-помех, чем при суммировании. На ЭЦВМ также была проведена проверка возможности применения приближенных оценок функций взаимных корреляций сеймотрасс для осуществления фазового прослеживания. При этом вычисление приближенных оценок взаимно корреляционных функций производилось по следующим выражениям:

$$R_{x_i, x_j}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \max [x_i(t), (x_j(t + \tau))] dt; \quad (9)$$

$$R_{x_i, x_j}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T |x_i(t) - x_j(t + \tau)| dt, \quad (10)$$

Вычисление функций (9), (10) может быть также просто реализовано при оптической корреляции для записей сейсмосигналов на транспаранте методом переменной площади и «широкой трассой». Такие

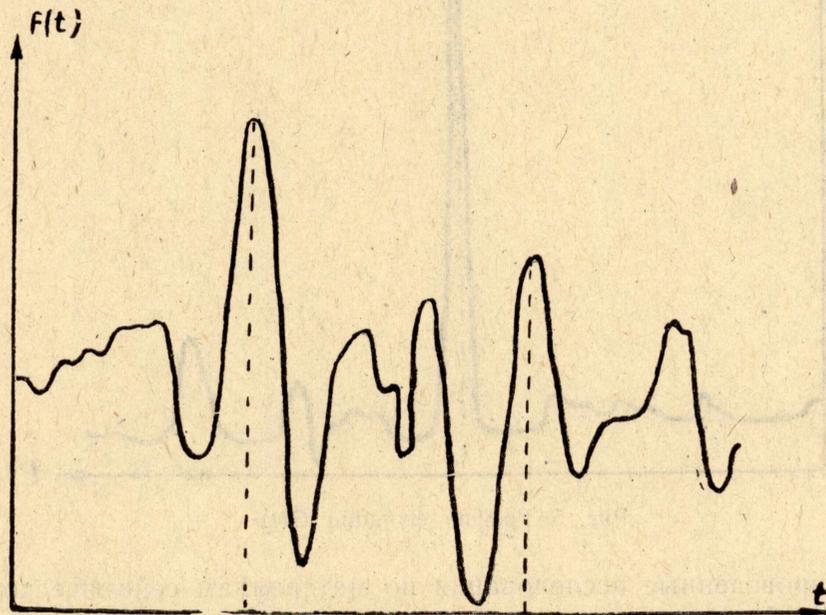


Рис. 4. График суммарного сигнала $F(t)$

методы записи широко распространены при аналоговой обработке сейсмической информации. Вычисленные значения $\tau_m^{i,j}$ по выражению (9) для одного участка сейсмограммы даны в табл. 3.

Таблица 2

Вид характеризуемой функции	T в сек	m	σ^2	σ	$\tau_m^{i,j}$	t_0 в мсек
$B_{x_i x_j}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_i(t) \cdot x_j(t + \tau) dt$						
” $i=1 \quad j=2$	0,83	42,21	0,605	0,778	0	
” $i=2 \quad j=3$	0,83	40,44	0,223	0,472	5,01	
” $i=3 \quad j=4$	0,83	45,76	0,316	0,562	3,34	
” $i=4 \quad j=5$	0,83	46,79	0,324	0,569	1,67	
” $i=5 \quad j=6$	0,83	40,46	0,147	0,383	1,67	
” $i=6 \quad j=7$	0,83	35,37	0,061	0,247	1,67	
” $i=7 \quad j=8$	0,83	34,59	0,157	0,397	1,67	
$G(t) = \prod_{i=1}^N x_i(t + \sum_{i,j} \tau_m^{i,j})$		$0,53 \cdot 10^{-4}$	$0,77 \cdot 10^{-8}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$		350,7

Сравнение результатов, полученных при вычислении «точной» и приближенной оценок функций взаимных корреляций, показало на возможность их использования при автоматической обработке сейсмиче-

ских данных. Использование функций (9), (10) при корреляционной обработке данных на ЭЦВМ позволяет существенно сократить затраты машинного времени. Осуществление приближенной корреляции также оказывается предпочтительным и при оптической обработке. Таким

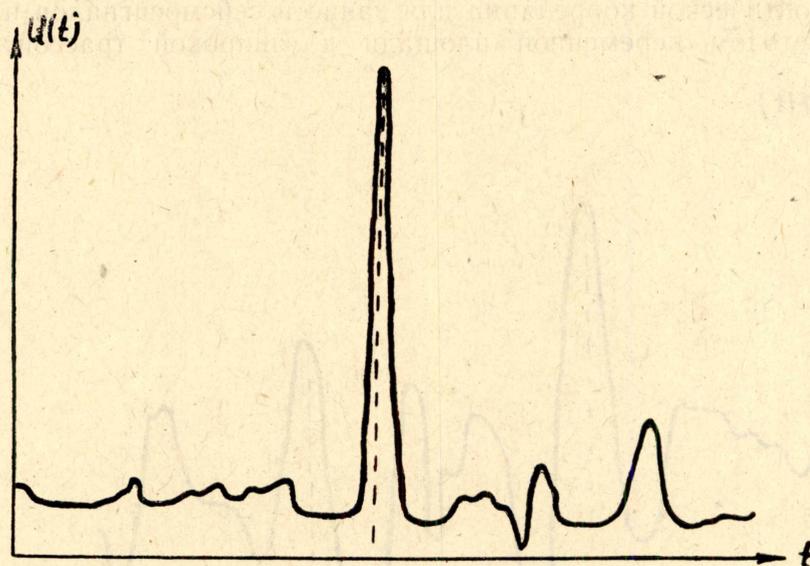


Рис. 5. График функции $G(t)$

образом, проведенные исследования по материалам сейсмического профиля 72 3 14 показали хорошую разрешающую способность предложенного алгоритма и возможность его использования при массовой обработке сейсмической информации. Следует отметить, что при обра-

Таблица 3

Вид характеризуемой функции	T в сек.	m	σ^2	σ	$\tau_{m}^{i,j}$	t_0 в м сек
$Rx_i x_j(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \max [x_i(t), x_j(t+\tau)] dt$						
„ $i=1 \quad j=2$	0,83	173,31	6,504	2,55	1,67	
„ $i=2 \quad j=3$	0,83	163,24	4,057	2,014	5,01	
„ $i=3 \quad j=4$	0,83	172,17	4,714	2,171	3,34	
„ $i=4 \quad j=5$	0,83	173,17	5,693	2,386	1,67	
„ $i=5 \quad j=6$	0,83	162,03	3,190	1,786	1,67	
„ $i=6 \quad j=7$	0,83	146,17	1,916	1,384	1,67	
„ $i=7 \quad j=8$	0,83	149,02	3,496	1,869	0	
$F(t) = \sum_{i=1}^N x_i(t + \sum_{ij} \tau_{m}^{i,j})$		2,254	0,645	0,81		351,37

ботке сейсмических материалов с существенной кривизной годографа фаз по данному алгоритму целесообразно осуществлять предварительное введение в записи расчетных кинематических и статических поправок. Введение расчетных поправок позволяет в этом случае повысить надежность определения среднего сдвига по положению максимума функций взаимной корреляции сейсмотрасс.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Гурвич. Сейсмическая разведка. «Недра», 1970.
2. А. К. Яновский. Использование функций взаимной корреляции сейсмических трасс для увязки сейсмических наблюдений.— В сб.: «Дискретная корреляция сейсмических волн». Новосибирск, «Наука», 1971.