

нии с идеальным (линейным) вариантом в области низких частот, где усиление корректирующего устройства велико из-за наличия в нем интегральной составляющей.

Численное определение (4) выполнено с помощью комбинации равномерного сканирования и градиентного алгоритма минимизации в пространстве комплексных амплитуд  $C_n$  (3 независимых переменных).

Предлагаемый метод позволяет исследовать не только непрерывные, но и дискретные САУ. Возможно также построение соответствующей процедуры параметрического синтеза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Nonlinear system design Ed. S. A. Billings, J. O. Gray, D. H. Owens. — London Peregrinus, 1984. — P. 204.
2. Карамян Э. В., Мелкумян А. М. О предельных циклах в многосвязных системах автоматического регулирования // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН — 1984. — Т. XXXVII, № 6. — С. 15—20.
3. Hung Y. S., MacFarlane A. G. J. Multi variable feedback design: a quasi classical approach. — Berlin, Springer, 1982. — P. 160.
4. Passino K. M. Disturbance rejection in nonlinear systems examples IEE Proc. Pt. D. — 1989. — № 6. — P. 317—323.
5. Чимишян С. Е. Исследование многосвязных систем управления с учетом нелинейности цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей. — Дисс. канд. техн. наук. — Ереван, Ереванский политехн. ин-т, 1990.

НИИЭлектромаш

20. XI. 1991

Изв. НАН Армении (сер. ТН), т. XLVI, № 1—2, 1994, с. 29—33

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.513

Н. А. БАРСЕГЯН

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТОДА ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ГИПОЦЕНТРОВ БЛИЗКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНЫХ СКОРОСТЕЙ ВОЛН

Приведен метод одновременного определения координат гипоцентра землетрясения и скоростей сейсмических волн. Применен шаговый алгоритм случайного поиска—поиск с возвратом. Разработана программа на Фортране—77 для одновременного определения координат гипоцентров близких землетрясений и эффективных скоростей сейсмических волн при использовании методов последовательного приближения и алгоритма случайного поиска.

Библиограф.: 2 назв.

Քերված է հրկրաշարժերի հիպոկենտրոնների հրկրաշարժական ալիքների արագության միաժամանակյա որոշման մեթոդ, Նիրառվել է աստահական փնտրման քայլային ալգորիթմը՝ փնտրում վերադարձով: Մշակվում են ծրագրերը Ֆորտրան—77 լեզվով հրկրաշարժերի ֆիզիկոսների կոորդինատների և հրկրաշարժական ալիքների արագությունների միաժամանակյա որոշման ալգորիթմի համար, օգտագործվելով հատուկական մասերիման մեթոդը և դաստահական փնտրման մեթոդը՝ փնտրում վերադարձով:

В связи с использованием ЭВМ в оперативной обработке первичной сейсмологической информации и накоплением ее на внешних магнитных накопителях появилась возможность детализации и уточнения скоростных моделей исследуемых тектонически активных регионов сейсмологическими методами. Одним из способов достижения этой цели является одновременное определение координат гипоцентров землетрясений и скоростей сейсмических волн.

1. *Определения и обозначения.* При определении координат гипоцентров близких землетрясений скоростная модель региона представляется как функция координат пространства и времени  $V = V(X, Y, H, T)$ .

Критерием точности таких методов является минимум среднеквадратических отклонений, наблюдаемых и расчетных времен пробега волн. Распространение волн в однородной среде отвечает гиперболическому голографу. Для определения координат гипоцентров близких землетрясений при регистрации прямых объемных волн можно использовать уравнения гиперболического голографа

$$(X - x_i)^2 = (Y - y_i)^2 + (H - h_i)^2 - (V_i t_i)^2 = 0, \quad (1)$$

где  $X, Y, H$  и  $x_i, y_i, h_i$  — координаты гипоцентра землетрясения и сейсмических станций;  $V_i$  — эффективная скорость распространения сейсмических волн от очага до  $i$ -ой станции;  $t_i$  — время пробега волн;  $n$  — число станций регистрации.

Для решения этой системы уравнений относительно координат гипоцентра землетрясения необходимы данные о времени пробега волн и индивидуальные эффективные скорости на каждую станцию. Но при изучении временных вариаций скоростных параметров необходимо одновременное определение координат близких землетрясений и скоростей сейсмических волн. Однако в такой постановке вопроса система (1) некорректна, т. к. любые  $n$  уравнений всегда будут содержать  $(n+3)$  неизвестных  $X, Y, H, V_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). Для упрощения решения задачи введем параметр  $K_{ij}$  — коэффициент скоростной неоднородности (КСН), который определяется как

$$K_{ij} = V_{ij} / \bar{V}, \quad (2)$$

где  $V_{ij}$  — эффективная скорость распространения сейсмических волн на пути от  $j$ -ого блока до  $i$ -ой станции,  $\bar{V}$  — средняя эффективная скорость в районе исследования.

Коэффициенты скоростной неоднородности показывают относительное изменение эффективной скорости от  $j$ -го блока до  $i$ -го блока станции и служат для введения поправочных множителей. Вводя эти множители, условно приводим район исследования к однородному и тогда имеем возможность вычислить среднюю эффективную скорость в нем одновременно с координатами гипоцентров землетрясений. Ил-

индивидуальная эффективная скорость в таком случае может быть представлена как произведение

$$V_{ij} = K_{ij} \bar{V}. \quad (3)$$

Тогда система уравнений (1) может быть приведена к виду

$$(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (H_j - h_i)^2 - (\bar{V} K_{ij} t_{ij})^2 = 0, \quad (4)$$

где  $X_j, Y_j, H_j$  — координаты очага землетрясения, относящиеся к  $j$ -му однородному блоку;  $m$  — число блоков.

Раскрывая скобки и определяя первое уравнение каждой системы, получаем систему неоднородных линейных уравнений  $(n-1)$  порядка относительно четырех неизвестных  $X_j, Y_j, H_j$  и  $\bar{V}$ . Введем следующие обозначения:

$$A_i = x_i - x_{i1}, \quad B_i = y_i - y_{i1}, \quad C_i = h_i - h_{i1}, \quad V = \bar{V}^2,$$

$$D_{ij} = K_{ij}^2 t_{ij}^2 - K_{ij}^2 t_{ij}^2, \quad E_i = x_i^2 - x_{i1}^2 + y_i^2 - y_{i1}^2 + h_i^2 - h_{i1}^2,$$

отсюда

$$2A_i X_j + 2B_i Y_j + 2C_i H_j + D_{ij} V - E_i = 0. \quad (5)$$

Для решения полученной системы линейных уравнений воспользуемся методом наименьших квадратов. На основании (5) запишем следующий функционал:

$$F(X_j, Y_j, H_j, V) = \sum_{i=1}^{n-1} (2A_i X_j + 2B_i Y_j + 2C_i H_j + D_{ij} V - E_i)^2. \quad (6)$$

Минимум функционала находится в точке, где частные производные по искомым параметрам равны нулю:

$$\partial F / \partial X_j = \partial F / \partial Y_j = \partial F / \partial H_j = \partial F / \partial V = 0. \quad (7)$$

При решении полученной системы нормальных уравнений вычисляются неизвестные  $X_j, Y_j, H_j, V$ .

При определении координат гипоцентров землетрясений и скоростей сейсмических волн одновременно принимаются как нормально распределенные ошибки измерения, так и систематические отклонения, связанные с неоднородностями скоростного строения. Поэтому, чтобы учесть отклонения и привести закон распределения случайных величин к нормальному, вводится КСН для каждого направления станция—однородный блок. Эффективные значения скоростей сейсмических волн на каждую станцию определяются по формуле

$$V_{ij} = [(X_j - x_i)^2 + (Y_j - y_i)^2 + (H_j - h_i)^2]^{1/2} t_{ij}. \quad (8)$$

2. Алгоритм определения координат гипоцентров и скоростей сейсмических волн. В работе [1] определены координаты гипоцентра землетрясений и скорости сейсмических волн при использовании мето-

дов последовательного приближения. Процесс вычисления заканчивается при совпадении предшествующих и последующих значений искомым параметров. Точность вычисления этих параметров оценивается по значению среднеквадратического отклонения расчетных  $t_{ij}^p$  и наблюдаемых  $t_{ij}$  времен пробега сейсмических волн

$$S_{\min} = \left[ 1/N \sum_{i=1}^n (t_{ij} - t_{ij}^p)^2 \right]^{1/2}, \quad (9)$$

где

$$t_{ij}^p = [(X_j - x_j)^2 + (Y_j - y_j)^2 + (H_j - h_j)^2]^{1/2} / \bar{V}K_{ij}. \quad (10)$$

Вместо метода последовательного приближения и алгоритме одновременного определения координат гипоцентров близких землетрясений и эффективных скоростей сейсмических волн применен шаговый алгоритм случайного поиска—поиск с возвратом [2]: в пространстве оптимизируемых параметров делается шаг в случайном направлении  $\xi$ . Если значение функции качества в новом состоянии  $Q(x_{i+1})$  больше или равно значению функции качества в исходной точке  $Q(x_i)$ , то система возвращается в первоначальное состояние, после чего снова делается шаг в случайном направлении. Если же функция качества уменьшилась, то последующий случайный шаг делается уже из этого нового состояния  $x_{i+1}$ . Этот алгоритм можно записать в виде следующих рекуррентных выражений:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{i+1},$$

$$\Delta X_{i+1} = \begin{cases} a\xi, & \text{если } Q(x_i) < Q(X_{i+1}), \\ -\Delta X_i, & \text{если } Q(X_i) > Q(X_{i+1}). \end{cases}$$

Здесь  $a$  — длина рабочего шага в пространстве параметров,  $\xi$  — очередная реализация случайного вектора.

Алгоритм работает следующим образом. Начальное состояние памяти  $\Delta X = (0, 0, \dots, 0)$ , а памяти  $Q^* = 0$ . Работа алгоритма начинается с определения функции качества в исходном состоянии  $Q_0 = Q(X_0)$ . В нашем случае функция качества определяется как

$$Q(Z) = 1 / \sqrt{(\partial F / \partial X_j)^2 + (\partial F / \partial Y_j)^2 + (\partial F / \partial H_j)^2 + (\partial F / \partial V_{ij})^2}. \quad (11)$$

После этого полученное значение  $Q$  сравнивается со значением, хранящимся в памяти  $Q^*$ , и запоминается. Если  $\Delta Q = Q - Q^* < 0$ , то за этим следует обращение к оператору случайного шага  $\xi$  с запоминанием его компонент в памяти  $\Delta x$  и т. д. Если же  $\Delta Q > 0$ , то производится обратный шаг ( $-\Delta x$ ), параметры которого хранятся в памяти  $\Delta x$ , после чего в этом состоянии определяется функция качества. Это значение запоминается в памяти  $Q$ , производится случайный шаг и т. д.

Разработаны программы на Фортране—77 одновременного определения координат гипоцентров близких землетрясений и эффективных скоростей сейсмических волн при использовании методов последо-

вательного приближения и алгоритма случайного поиска—поиска с возвратом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патмидолуло Г. А. Детальное исследование пространственно-временных вариаций скоростных параметров и прогноз землетрясений — Автореф. ... дисс. канд. техн. наук. — М., 1984, — 18 с.
2. Растринин Э. А. Случайный поиск. — Рига: Зинатне, 1965. — 374 с.

ИПИиА АН РА

29 VII. 1992

Изв. НАН Армении (сер. ТИ), т. XLVII, № 1—2, 1992, с. 33—40

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 658.564:531.75

С. Г. КЮРЕГЯН, Н. С. КЮРЕГЯН

## АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ В РЕЗЕРВУАРАХ

Разработаны алгоритмы, позволяющие осуществлять оптимальное распределение начальной и товарной массы продукта в резервуарах с целью минимизации погрешности измерения массы продукта при товарных операциях. Расчеты показывают, что с помощью указанных алгоритмов можно значительно снизить погрешность измерения массы.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

*Բնութիւնը և ալգորիթմներ, որոնք բաց ևն տալիս իրականացնել նշույթի սկզբնական և տարանջային զանգվածի չափարկման տեղաբաշխումը պահեստարաններում՝ ապրանքային պահարկների դեղորսմ նշույթի զանգվածի չափման սխալը նվազագիծում նպատակով: Հաշվարկները ցույց ևն տալիս, որ եզրված ալգորիթմների միջոցով ներառվող և զգալիորեն ցածր են զանգվածի չափման սխալը:*

Количественный учет жидких продуктов, в частности, нефтепродуктов, при проведении товарных операций в резервуарах представляет важную экономическую задачу. Как показано в [1], относительная погрешность измерения товарной массы продукта зависит не только от величины самой массы и погрешностей средств измерения, но и от уровня начального заполнения резервуара. Если товарная операция осуществляется одновременно в нескольких резервуарах с известными средствами измерения, то погрешность измерения всей массы будет являться от распределения начальной и товарной масс жидкости в резервуарах. Ранее в [2] была решена задача оптимального распределения товарной массы продукта при произвольно заданном распределении начальной массы продукта в резервуарах. В качестве критерия оптимальности был принят минимум относительной погрешности  $\delta M$  измерения всей товарной массы продукта