



После проведения компенсации доплеровского сдвига к обработке сигналов может быть непосредственно применен алгоритм «разностных сигналов».

Литература

1. Гришин Ю. П., Казаринов Ю. М., Ипатов П. В. Радиотехнические системы. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с.
2. Stein S. Algorithms for Ambiguity Function Processing // IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing. Vol. ASSP-29, N. 3, 1981. – P. 588-599.
3. Логинов, А.А., Марычев, Д.С., Морозов, О.А., Фидельман, В.Р. Алгоритм вычисления функции неопределенности в задаче одновременной оценки частотно-временных характеристик сигналов. // Известия вузов. Поволжский регион. Технические науки. №3 (27) . – 2013. – С. 62-73.
4. Ершов Р.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Оценка взаимной временной задержки сигналов с псевдслучайной скачкообразной перестройкой частоты. // Известия высших учебных заведений. Радиофизика, Т. 58, №2, 2015 г. – с. 157-166.

В.Е. Зотеев, А.А. Свистунова

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТИ УПРОЧНЕННОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

(Самарский государственный технический университет)

При расчете и исследовании полей остаточных напряжений и пластических деформаций в поверхности упрочненного полупространства одной из основных задач является задача достоверной оценки параметров аппроксимации экспериментальных зависимостей остаточных напряжений $\sigma_x(z)$. Эта зависимость, как правило, описывается аналитической функцией вида

$$\sigma_x(z) = \sigma_0 \exp[-z^2] - \sigma_1 \exp[-\alpha z^2] \quad (1)$$

где σ_0 , σ_1 и α – параметры, подлежащие определению. Известный подход к решению этой задачи не предполагает в своих алгоритмах применения статистических методов обработки результатов эксперимента. Он, как правило, использует информацию о двух, специальным образом выбранных, точках кривой (1) и дополнительное условие, связывающее её параметры. При этом практически все точки эксперимента в вычислениях параметров зависимости (1) не участвуют, что является существенным недостатком такого метода.

Предлагается новый численный метод определения на основе экспериментальных данных параметров напряженного состояния поверхности упрочненного полупространства. В основе метода лежит среднее квадратичное оценивание коэффициентов разностного уравнения, описывающего результаты экс-



перимента для компоненты остаточных напряжений, возникающих в поверхности упрочненного полупространства после процедуры поверхностного пластического деформирования. Алгоритм этого метода включает следующие основные этапы:

- построение рекуррентной формулы, связывающей несколько последовательных дискретных значений зависимости (1) компоненты напряжений $\sigma_x(z)$;
- разработка разностных уравнений, описывающих результаты наблюдений и учитывающих случайный разброс в данных эксперимента;
- формирование на основе разностных уравнений обобщенной регрессионной модели, коэффициенты которой известным образом связаны с параметрами исследуемой зависимости (1);
- среднее квадратичное оценивание коэффициентов обобщенной регрессионной модели, в основе которого лежит минимизация суммы квадратов отклонений модели (1) от результатов наблюдений по всем точкам эксперимента;
- вычисление параметров компоненты остаточных напряжений, возникающих в упрочненном слое полупространства;
- оценка погрешности результатов вычислений, а также адекватности построенной модели результатам эксперимента.

Построена система разностных уравнений при отсутствии ограничений, описывающая результаты эксперимента для компоненты напряжений $\sigma_x(z)$, и лежащая в основе численного метода параметрической идентификации напряженно-деформированного состояния:

$$\begin{cases} y_0 = \lambda_1 - \lambda_2 + \varepsilon_0, \\ y_1 = \lambda_1 m_1 - \lambda_2 \lambda_3^{(i)} + \varepsilon_1, \\ y_{k-2} y_k = \lambda_1 (m_k y_{k-2} + m_{k-2} y_k - \lambda_1^{(i)} m_k m_{k-2} + \lambda_1^{(i)} \lambda_3^{2(i)} m_{k-1}^2 - 2 \lambda_3^{(i)2} m_{k-1} y_{k-1}) + \lambda_3 (\lambda_3^{(i)} y_{k-1}^2) + \eta_k, \\ \eta_k = \varepsilon_k (y_{k-2} - \lambda_1 m_{k-2}) + 2 \lambda_3^{2(i)} \varepsilon_{k-1} (\lambda_1^{(i)} m_{k-1} - y_{k-1}) + \varepsilon_{k-2} (y_k - \lambda_1 m_k), \\ k = 2, N-1. \end{cases} \quad (2)$$

где $m_k = \exp(-k^2 (\Delta z)^2)$, $y_k = \sigma_x(k \Delta z)$, $k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$, – результаты эксперимента, Δr – шаг дискретизации зависимости (1); N – объем выборки результатов наблюдений; ε_k – случайный разброс в данных эксперимента;

$$\lambda_1 = \sigma_0, \lambda_2 = \sigma_1, \lambda_3 = \exp[-\alpha r^2] \quad (3)$$

Формулы (3) позволяют по найденным среднее квадратичным оценкам коэффициентов разностного уравнения (2) вычислить σ_0 , σ_1 и α модели (1).

Если использовать условие, что твердого тела, эпюра напряжения $\sigma_\theta^{res}(r)$ должна быть самоуравновешенной, т.е. должно выполняться условие

$$\int_0^\infty \sigma_x(z) dz = 0 \quad (4)$$



то система разностных уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} y_0 = \lambda_1 \left(1 - \sqrt{-\frac{\ln \lambda_2^{(i)}}{\tau^2}} \right) + \varepsilon_0, \\ y_1 = \lambda_1 \left(m_1 - \lambda_2^{(i)} \sqrt{-\frac{\ln \lambda_2^{(i)}}{\tau^2}} \right) + \varepsilon_1, \\ y_{k-2} y_k = \lambda_1 (m_k y_{k-2} + m_{k-2} y_k - \lambda_1^{(i)} m_k m_{k-2} + \lambda_1^{(i)} \lambda_2^{2(i)} m_{k-1}^2 - 2\lambda_2^{(i)2} m_{k-1} y_{k-1}) + \\ + \lambda_2 (\lambda_2^{(i)} y_{k-1}^2) + \eta_k, \\ \eta_k = \varepsilon_k (y_{k-2} - \lambda_1 m_{k-2}) + 2\lambda_2^{2(i)} \varepsilon_{k-1} (\lambda_1^{(i)} m_{k-1} - y_{k-1}) + \varepsilon_{k-2} (y_k - \lambda_1 m_k), \\ k = 2, N-1. \end{cases} \quad (5)$$

$$\lambda_1 = \sigma_0, \lambda_2 = \exp[-\alpha \tau^2], \sigma_1 = \sigma_0 \sqrt{\alpha}. \quad (6)$$

Формулы (6) позволяют по найденным среднеквадратичным оценкам коэффициентов разностного уравнения (5) вычислить параметры σ_0 , σ_1 и α модели (1).

Для вычисления среднеквадратичных оценок коэффициентов разностного уравнения (2) и (5), обеспечивающих минимум отклонения модели (1), описывающей компоненту напряжений $\sigma_\theta^{res}(r)$, от экспериментальных данных, используется обобщенная регрессионная модель вида

$$\begin{cases} b = F\lambda + \eta; \\ \eta = P_\lambda \varepsilon, \end{cases} \quad \text{где}$$

$$b = (y_0, y_1, y_0 y_2, \dots, y_{N-3} y_{N-1})^T, \lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)^T, \varepsilon = (\varepsilon_0, \dots, \varepsilon_{N-1})^T, \eta = (\eta_1, \dots, \eta_N)^T.$$

Для выполнения требования $\|\varepsilon\|^2 = \|P_\lambda^{-1} b - P_\lambda^{-1} F \lambda\|^2 \rightarrow \min$ алгоритм численного метода на основе обобщенной регрессионной модели использует итерационную процедуру уточнения среднеквадратичных оценок $\hat{\lambda}_i$ коэффициентов разностного уравнения. Эта процедура может быть описана формулой:

$$\hat{\lambda}^{(i+1)} = \left\{ \left[F_{\hat{\lambda}^{(i)}}^T + B_{\hat{\lambda}^{(i)}}^T D_{P^{(i)}}^T - (D_{B^{(i)}} - D_{F^{(i)}} \cdot \Lambda_{\hat{\lambda}^{(i)}})^T \right] \Omega_{\hat{\lambda}^{(i)}}^{-1} F_{\hat{\lambda}^{(i)}} \right\}^{-1} \left[F_{\hat{\lambda}^{(i)}}^T + B_{\hat{\lambda}^{(i)}}^T D_{P^{(i)}}^T - \right. \quad (7)$$

$$\left. - (D_{B^{(i)}} - D_{F^{(i)}} \cdot \Lambda_{\hat{\lambda}^{(i)}})^T \right] \Omega_{\hat{\lambda}^{(i)}}^{-1} b_{\hat{\lambda}^{(i)}},$$

где $i = 0, 1, 2, \dots$ – номер итерации, $\Omega_{\hat{\lambda}^{(i)}}^{-1} = (P_\lambda^{-1})^T P_\lambda^{-1}$,

$$B_{\hat{\lambda}^{(i)}} = \begin{bmatrix} P_\lambda^{-1} (b - F \lambda) & \bar{0} & \dots & \bar{0} \\ \bar{0} & P_\lambda^{-1} (b - F \lambda) & \dots & \bar{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{0} & \bar{0} & \dots & P_\lambda^{-1} (b - F \lambda) \end{bmatrix},$$



$$D_{P[N \times n]} = \begin{bmatrix} \frac{dP_\lambda}{d\lambda_1} & \frac{dP_\lambda}{d\lambda_2} & \frac{dP_\lambda}{d\lambda_3} & \dots & \frac{dP_\lambda}{d\lambda_n} \end{bmatrix}, \quad D_{B[N \times n]} = \begin{bmatrix} \frac{db_\lambda}{d\lambda_1} & \frac{db_\lambda}{d\lambda_2} & \frac{db_\lambda}{d\lambda_3} & \dots & \frac{db_\lambda}{d\lambda_n} \end{bmatrix},$$

$$D_{F[N \times n^2]} = \begin{bmatrix} \frac{dF_\lambda}{d\lambda_1} & \frac{dF_\lambda}{d\lambda_2} & \frac{dF_\lambda}{d\lambda_3} & \dots & \frac{dF_\lambda}{d\lambda_n} \end{bmatrix}, \quad \Lambda_{[n^2 \times n]} = \begin{bmatrix} \lambda & \bar{0} & \dots & \bar{0} \\ \bar{0} & \lambda & \dots & \bar{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{0} & \bar{0} & \dots & \lambda \end{bmatrix}.$$

Начальное приближение вектора среднеквадратичных оценок $\hat{\lambda}^{(0)}$ может быть найдено из условия минимизации невязки $\|\eta\|^2 \rightarrow \min$ по формуле $\hat{\lambda}^{(0)} = (F^T F)^{-1} F^T b$. Достаточные условия сходимости итерационной процедуры рассматриваются и исследуются в [2].

Для проведения численно аналитического исследования эффективности численного метода определения параметров остаточных напряжений было разработано программное средство на языке C#.

Был применен используемый в механике метод определения параметров остаточных напряжений, а также три разработанных алгоритма на основе разностных уравнений. Данные приведены в таблице 1.

Таблица 5. Сравнение полученных результатов

	σ_0	σ_1	α	Адекватность
Известный метод	118,885	1118,885	88,576	18.52%
1 алгоритм – нет ограничений	78,214	1040,396	176,939	19.8%
2 алгоритм – условие равновесия	105,737	985,0096	86,781	10.72%

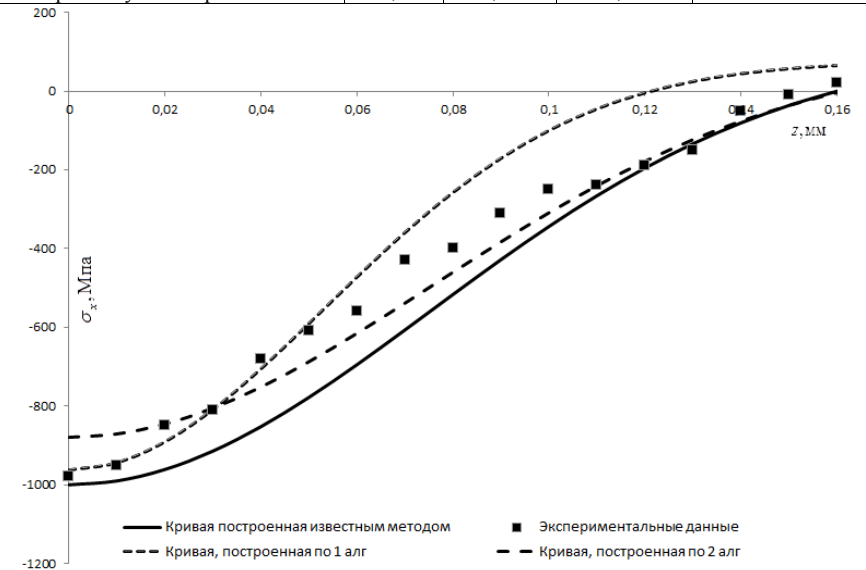


Рисунок 10 - График зависимости $\sigma_x = \sigma_x(z)$



Таким образом, применение численного метода, в основе которого лежит среднеквадратичное оценивание коэффициентов разностного уравнения, при расчете и исследовании остаточных напряжений при поверхностном упрочнении полупространства позволяет повысить адекватность модели экспериментальным данным и, тем самым, достоверность оценок параметров напряженно деформируемого состояния.

Литература

1. Радченко, В.П. Ползучесть и релаксация остаточных напряжений в упрочненных конструкциях/В. П. Радченко, М.Н. Саушкин М.: Машиностроение-1, 2005. – 226 с.
2. Зотеев В.Е. Математические основы построения разностных уравнений для задач параметрической идентификации / Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физико-математические науки, 2008, №2(17). С.192-202.
3. Зотеев В.Е. Параметрическая идентификация линейной динамической системы на основе стохастических разностных уравнений / Математическое моделирование, 2008, том 20, №9, С. 120-128.

В.И. Иванов, М.Н. Ромаданова

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ЭХО НА СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ

(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)

Известно, что мешающее действие электрического эха определяется затуханием эхосигнала в канале и его задержкой относительно исходного речевого сигнала. Современные системы связи, в особенности, использующие высокоэффективные речевые кодеки, сотовую связь, а также сети пакетной передачи, характеризуются значительными задержками речевого сигнала; этим объясняется большая подверженность подобных систем действию эха по сравнению с традиционными системами передачи. Эксплуатация таких систем связи требует тщательного контроля над проявлениями эффекта электрического эха и принятия мер по борьбе с его действием [Текст]

Значительно увеличилась доля каналов, требующих использования средств подавления эффекта электрического эха, за счет широкого использования на сетях связи цифровых методов обработки сигнала, связанных, главным образом, с блочным характером обработки. В частности, значительное распространение получили системы, использующие интерполяционные алгоритмы сжатия речи. На фиксированных сетях статус стандарта де-факто приобрел алгоритм CS-ACELP, обеспечивающий восьмикратное сжатие речи с незначительной потерей качества, а на сетях мобильной связи - GSM 06.10, реализуе-



мый близкими к CS-ACELP процедурами и обладающий похожими свойствами.

Появились новые способы и средства передачи телефонных сообщений, выдвинувшие IP - телефонию на лидирующие позиции по степени мешающего воздействия эффекта электрического эха. Стремление к экономии средств и к передаче максимально возможного трафика при имеющейся пропускной способности шлюзов в сеть общего пользования заставляет операторов использовать максимальную емкость буфера сбора пакетов, часто усугубляя картину передачи сжатием речи по алгоритму CS-ACELP. Естественно, подобные меры приводят к увеличению времени распространения сигналов по каналам, и, как следствие, к необходимости применения ЭПУ. Надо сказать, что не существует точной оценки качества ни речевого, ни телевизионного сигнала, поскольку оно зависит от восприятия человека, т.е. такая оценка в значительной степени субъективна[2]. На помощь приходит статистика. Например, для оценки качества речи была предложена средняя экспертная оценка (Mean Opinion Score, MOS). Она формируется на основе большого числа испытаний, в каждом из которых участвует множество экспертов. Возможные значения MOS находятся в пределах от 1 до 5. Средний показатель с цифрой 4 соответствует хорошему качеству речевого соединения, менее 3,5 означает неудовлетворительное качество. На рис. 1 приведены логические оценки качества телефонного сигнала, соответствующие разным областям значений MOS. Оценивать можно и с помощью коэффициента R в процентах. Если R превышает 93%, значит, качество передачи телефонного сигнала хорошее. Абонент замечает ухудшение качества при значениях R менее 70%.



Рис.1 – Оценки качества телефонного сигнала, соответствующие разным областям значений MOS

Время задержки при передаче речевого сигнала можно отнести к одному из трех уровней: - первый уровень до 200 мс – отличное качество связи. Для сравнения, в телефонной сети общего пользования допустимы задержки до 150-200 мс; - второй уровень до 400 мс – считается хорошим качеством связи. Но если сравнивать с качеством связи по сетям ТфОП, то разница будет видна. Если задержки постоянно удерживаются на верхней границе 2-го уровня (400 мс),