

Список використаних джерел:

1. Завгородній В. Д. Квантово-механічна модель давачів кута індукційного типу (Частина 3. Аналіз впливу технологічних похибок) / В. Д. Завгородній // Електротехніка і електромеханіка. — 2003. — №3. — С. 26–31.
2. Завгородній В. Д. Квантово-механічна модель давачів кута індукційного типу (Частина 4. Аналіз методів обробки вихідних сигналів) / В. Д. Завгородній, В. І. Мороз, О. А. Петрова // Електротехніка і електромеханіка, 2003. — №4. — С. 36–41.
3. Завгородній В. Квантово-механічна модель давачів кута індукційного типу (Частина 5. Аналіз алгоритмів обробки вихідних сигналів) / В. Завгородній, В. Мороз, А. Бойко // Електротехніка і електромеханіка. — 2004. — №4. — С. 27–33.

The article presents an overview of analyzes the accuracy of the signal processing methods of induction angle sensors and the advantages of the combined method. The orthogonal signal components are used to determine the angle from inductive sensor followed by treatment with different laws for which a comparative analysis. The optimum phase calculation can be realized to implement combined inverse tangent function using the integral method.

Key words: *angle detection, angle sensors, integral methods, signal processing.*

Отримано: 18.03.2014

УДК 519.6

Л. В. Мосенцова, аспірант

Физико-технологический институт металлов
и сплавов НАН Украины, г. Киев

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ
КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОДЕЛЬНЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Работа посвящена особенностям решения задач интерпретации наблюдений в интегральной постановке.

Ключевые слова: *интерпретация наблюдений, некорректность, интегральные модели, регуляризация, параметр регуляризации, метод модельных экспериментов.*

Введение. Интегральные модели в задачах интерпретации результатов наблюдений. Интегральные уравнения Фредгольма первого рода

$$\int_a^b K(x, s, y(s)) ds = f(x), \quad c \leq x \leq d, \quad (1)$$

естественно и эффективно описывают широкий класс экспериментально наблюдаемых явлений [4; 5]. В частности, уравнение (1) является основой интегрального метода решения задачи интерпретации наблюдений, связанной с повышением разрешающей способности средств наблюдений, содержащих неидеальные измерительные элементы. Наряду с числовой оценкой ошибки измерения результаты наблюдений характеризуются такой важной характеристикой как разрешающая способность, которая выражается в абсолютных единицах и равна такому минимальному расстоянию между двумя изолированными, дельтаобразными пиками истинной зависимости, при котором эти пики еще могут различаться по отдельности в сглаженной наблюдаемой зависимости.

Компьютерная интерпретация определяется как вычислительный процесс восстановления истинных экспериментальных зависимостей, реализующий методы регуляризации, отличающийся повышенной сложностью математической обработки данных и осуществляемый поэтому с помощью вычислительных средств в рамках автоматизированной системы обработки результатов наблюдений. Обобщенная структура процесса компьютерной интерпретации результатов наблюдений представлена на рис. 1.

Моделирование процессов наблюдения осуществляется с помощью приближенной математической модели (1), в связи с чем постановка (обратной) задачи интерпретации результатов наблюдений является математически некорректной. Тихоновский подход [1] к решению некорректно поставленных задач создает предпосылки для успешной разработки устойчивых численных алгоритмов, реализуемых в автоматизированных системах обработки экспериментальных данных и, таким образом, придает перспективность и практическую целесообразность разработке и исследованию алгоритмических и структурных основ соответствующих вычислительных систем компьютерной интерпретации экспериментальных зависимостей.



Рис. 1. Обобщенная блок-схема процесса интерпретации результатов наблюдений

Моделирующий алгоритм (рис. 2) включает операции: интерпретации данных; имитации входных воздействий (экспериментальных данных системы наблюдения).

Алгоритм интерпретации данных включает первичную обработку данных, регуляризацию и инверсную обработку данных, а также выдачу

результатов. Первичная обработка содержит нормализацию чисел, нормировку числовых данных, фильтрацию, аппроксимацию и т.п.

Как уже было отмечено выше, уравнение (1) является некорректным, поэтому для его решения используют методы регуляризации, такие как, метод Тихонова, Лаврентьева и др. Применение регуляризирующих методов сводит интегральное уравнение Фредгольма I рода к интегральному уравнению Фредгольма II рода

$$\alpha y(x) + \int_a^b K(x, s, y(s)) ds = f(x), \quad c \leq x \leq d, \quad (2)$$

где α — параметр регуляризации.

В данной работе рассматривается и применяется метод модельных экспериментов для определения параметра α .

Метод модельных экспериментов. Эффективность интерпретации экспериментальных зависимостей с применением базовых методов регуляризации Тихонова [1] и Лаврентьева [2] зависит от уровня шумов в правой части решаемого интегрального уравнения. Это обусловлено необходимостью управления устойчивостью решения задачи включения в уравнение величины $\alpha y(x)$, что обеспечивает устойчивость, но снижает точность модели. Определение значения параметра регуляризации α в методах Тихонова [1] и Лаврентьева [2] представляет собой наиболее сложный и ответственный этап реализации этих методов. Значение α не должно быть слишком большим, иначе регуляризованное решение будет мало похожем на точное из-за большой систематической ошибки, вносимой слагаемыми x_α . С другой стороны, слишком малое значение α не позволит получить достаточно устойчивое решение и ошибка решения вновь может оказаться недопустимо большой. Следуя [1; 2; 4], значение α , при котором $\|x_\alpha - x\| = \min$, назовем оптимальным и обозначим α_0 .

Существуют различные способы определения значения параметра регуляризации α . Среди них отметим: способ определения невероятного α_{HB} , способ невязки, способ учета не отрицательности решения [1; 5–7] и др. В этих различных по эффективности способах используются различные виды дополнительной априорной информации. Для последующей обработки большого количества сходных правых частей эффективным способом выбора оптимального значения α является метод модельных экспериментов учитывающий, наряду с α , регуляризирующее влияние дискретизации аргументов интегрального уравнения.

В данной в работе рассматривается метод модельных экспериментов [5; 7] для определения оптимального параметра регуляриза-

ции при решении нелинейной задачи интерпретации результатов измерений. Метод состоит в следующем.

1. Пусть задано уравнение (исходная задача P) вида (1) своей правой частью $\tilde{f}_p(x)$ и режимом a, b, c, d ,

$$x_1, x_2, \dots, x_l, s_1, s_2, \dots, s_n, \tilde{K}_p(x, s, y(s)), \tilde{\xi}_{omP}, \tilde{\delta}_{omP}, \quad (3)$$

причем $\tilde{\delta}_{omP} = \delta_p + \Delta\delta$, $\tilde{\xi}_p = \xi_p + \Delta\xi$, где δ_p и ξ_p — точные значения; $\tilde{\delta}_{omP}$ и $\tilde{\xi}_{omP}$ — их практические значения; $\Delta\delta$ и $\Delta\xi$ — погрешности (т.е. погрешности δ_p и ξ_p полагаются известными с погрешностями).

2. Составляется модельная задача Q , в котором точное решение задается с учетом априорной информации об искомом решении.

3. Определяется $f_Q(x)$ из $\int_a^b K(x, s, y(s)) ds = f(x)$, $c \leq x \leq d$, при

$$K(x, s, y(s)) = K_Q(x, s, y(s)) \text{ таком, что } \frac{\|K_Q - \tilde{K}_p\|}{\|K_Q\|} = \tilde{\xi}_{omP}.$$

4. Численно решается (при различных $\alpha > 0$) уравнение

$$\alpha y_\alpha(x) + \int_a^b M(s, x, y_\alpha(s), y_\alpha(x)) ds = F(x, y_\alpha(x)),$$

$$M(s, x, y(s), y(x)) = \int_c^d K(t, s, y(s)) K'_y(t, x, y(x)) dt,$$

$$F(x, y(x)) = \int_c^d K'_y(t, x, y(x)) f(t) dt,$$

относительно $[y_\alpha(s)]_Q$ в режиме (3) с ядром

$$\tilde{K}(x, s, y(s)) = \tilde{K}_Q(x, s, y(s)) = \tilde{K}_p(x, s, y(s))$$

и правой частью $\tilde{f}(x) = \tilde{f}_Q(x)$, такой, что $\frac{\|f_Q - \tilde{f}_Q\|}{\|f_Q\|} = \tilde{\delta}_{omP}$.

5. Определяется α_{opt_Q} — то α , при котором

$$\frac{\|y_{\alpha_Q} - y_Q\|}{\|y_Q\|} = \min_{\alpha > 0}.$$

6. Используется найденное значение α_{opt_0} для решения исходного уравнения P .

Применение метода модельных экспериментов связано с построением модельных примеров. Тремя основными (взаимно независимыми) компонентами модельного примера являются: 1) ядро интегрального уравнения, соответствующее аппаратной функции системы наблюдения; 2) точное решение, основные смысловые элементы которого выбираются на основании имеющейся априорной информации максимально близкими к ожидаемым на практике; 3) шумы в экспериментальной правой части интегрального уравнения. Четвертой (вторичной по способу получения) компонентой является имитация экспериментальной правой части интегрального уравнения.



Рис. 2. Алгоритм моделирования процессов

Построение основных компонент модельного примера может быть выполнено преимущественно аналитическим способом, либо только численно, либо аналого-цифровыми методами.

Аналитический способ предполагает задание ядра и точного решения в аналитическом виде и получение правой части аналитическими методами. Поскольку решение интегрального уравнения выполняется в конечном счете численными методами, осуществляется дискретизация аналитической правой части и добавление к полученным дискретным значениям случайных чисел, имитирующих погрешности измерений. В итоге, вследствие необходимости дискретного представления правой части, а также ввиду отсутствия элемен-

тарных аналитических форм для представления правой части по произвольным аналитическим ядру и точному решению, применение аналитического способа весьма ограничено.

Численный способ предполагает аппроксимацию интеграла конечными суммами и применение квадратурных формул. При этом ядро и точное решение представляются наборами дискретных значений (таблично). Такой способ наиболее универсален и легко может быть алгоритмизован.

Структура алгоритма имитации результатов наблюдений представлена на рис. 3. Она включает два этапа: 1) формирование независимых компонент модельного примера и 2) расчет функции $f(x)$. Структура процедуры формирования независимых компонент модельного примера представлена на рис. 4.

Алгоритмы имитации обеспечивают функциональное моделирование источников сигналов и системы наблюдения.

Таким образом, представляется целесообразной следующая методика компьютерного моделирования при разработке интерпретирующей системы на основе метода модельных экспериментов:

- 1) определение компонент модельного примера;
- 2) алгоритмизация методов интерпретации;
- 3) алгоритмизация; воспроизведения модельных функций;
- 4) выбор начальных значений параметров методов;
- 5) программирование задачи;
- 6) машинное моделирование и оптимизация параметров;
- 7) разработка структуры и алгоритмов системы инверсной обработки;
- 8) расчет и выдача оптимизированных значений параметров инверсной обработки данных.

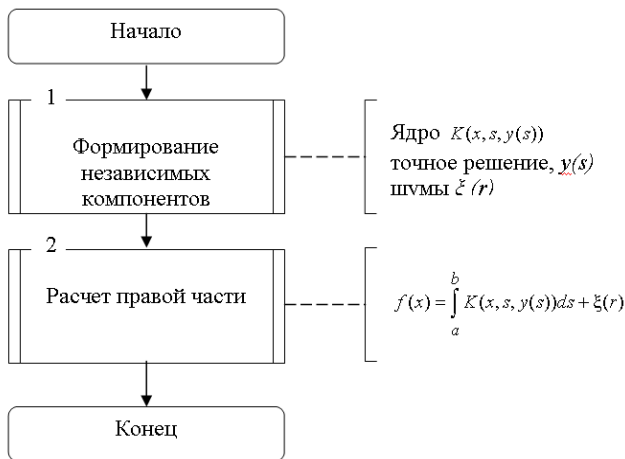


Рис. 3. Структура алгоритма формирования модельного параметра

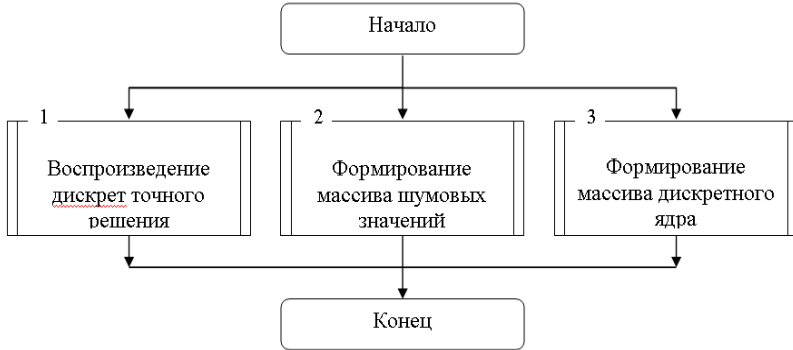


Рис. 4. Структура алгоритма формирования независимых компонент модельного примера

Рассмотрим решение тестового примера методом модельного эксперимента.

Пример. Исходная задача P — уравнение (1), в котором точное ядро

$$\bar{K}_P(x, s, y(s)) = \left\{ \frac{\sin[\gamma(\sin x - \sin s)]}{N \sin\left[\frac{\gamma}{N}((\sin x - \sin s))\right]} \cdot (y_Q(s))^2 - r(x, s) + q_3 \right\},$$

где

$$r(x, s) = \begin{cases} 1 & \text{при } \gamma |\sin x - \sin s| < \pi, \\ q_2 & \text{при } \gamma |\sin x - \sin s| \geq \pi, \end{cases}$$

$$N = 25, \gamma = 38,2, q_1 = 0,9, q_2 = 0, q_3 = 1/9,$$

точное решение

$$y_P(s) = \begin{cases} 160 \exp\left[-\left(\frac{s+2,3}{0,8}\right)^2\right] + 190 \exp\left[-(s-2,2)^2\right], & \text{при } s \in [-4,4], \\ 0, & \text{при } s \notin [-4,4], \end{cases}$$

где s дается в градусах.

Модельную задачу Q формируем в следующем виде: ядро

$$\bar{K}_Q(x, s, y(s)) = \left\{ \frac{\sin[\gamma(\sin x - \sin s)]}{N \sin\left[\frac{\gamma}{N}((\sin x - \sin s))\right]} \cdot (y_Q(s))^2 - r(x, s) + q_3 \right\},$$

где

$$r(x, s) = \begin{cases} 1 & \text{при } \gamma |\sin x - \sin s| < \pi, \\ q_2 & \text{при } \gamma |\sin x - \sin s| \geq \pi, \end{cases}$$

$$N = 25, \gamma = 37,82, q_1 = 0,895, q_2 = 0,03675, q_3 = 0,105 / 0,895,$$

точное решение

$$\bar{y}_Q(s) = \begin{cases} 72 \exp \left[-\left(\frac{s+2,38}{0,84} \right)^2 \right] + 93 \exp \left[-\left(\frac{s-2,14}{0,98} \right)^2 \right], & \text{при } s \in [-4, 4], \\ 0, & \text{при } s \notin [-4, 4]. \end{cases}$$

На рис. 5 и рис. 6 представлены точные решения $\bar{y}_Q(s)$, $\bar{y}_p(s)$ и решения $\tilde{y}\alpha_Q(s)$, $\tilde{y}\alpha_p(s)$ при $\alpha = 10^{-5}$.

Рассмотрение рис. 5 и рис. 6 показывает следующее:

- всплески в решении (источники) разрешаются уверенно, несмотря на то, что в функциях $f_p(x)$ и $f_Q(x)$ они совершенно не проявляются; это связано с тем, что расстояние между всплесками мало — приблизительно равно ширине ХН по уровню 0,7;
- координаты всплесков восстанавливаются также с небольшой погрешностью, а именно, с точностью до шага;
- непосредственно же функции $\bar{y}_p(s)$ и $\bar{y}_Q(s)$ восстанавливаются значительно хуже (для повышения точности необходимо уменьшить ошибки f и K , а также шаг h).

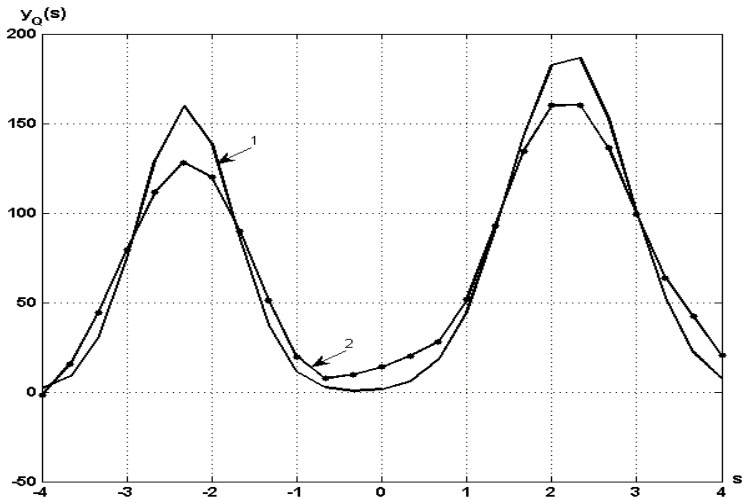


Рис. 5. Точное (1) и приближенное (2) решения модельной задачи Q при $\alpha = 10^{-5}$

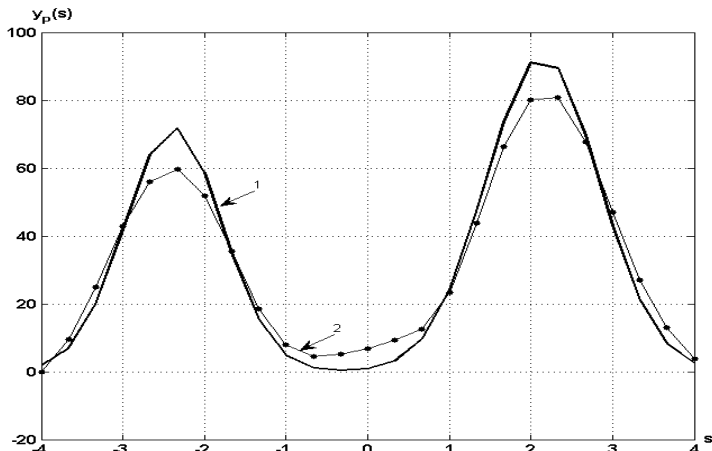


Рис. 6. Точное решение (1) и решение при $\alpha = 10^{-5}$ исходной задачи P

Заключение. Рассмотрен ряд особенностей процессов обработки экспериментальных данных в задачах интерпретации результатов наблюдений. Наличие компьютерных средств моделирования создает предпосылки для успешного выполнения этих исследований и придает перспективность и практическую целесообразность разработке и исследованию алгоритмических и структурных основ соответствующих специализированных вычислительных систем компьютерной интерпретации экспериментальных зависимостей. Предложена методика моделирования процессов и систем компьютерной интерпретации экспериментальных зависимостей, включающая реализацию метода модельных экспериментов в моделирующих алгоритмах и структурах. Применение комбинации методов регуляризации и метода модельных примеров дало возможность получить конкретный численный алгоритм для решения интегральных уравнений типа Фредгольма I рода и позволяет находить эффективное решение для задач с быстроизменяющимися участками искомых решений.

Список использованных источников:

1. Численные методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, А. В. Гончарский, В. В. Степанов, А. Г. Ягола. — М. : Наука, 1990. — 232 с.
2. Лаврентьев М. М. О некоторых некорректных задачах математической физики / М. М. Лаврентьев. — Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР, 1962. — 68 с.
3. Численный метод решения трехмерной обратной кинематической задачи сейсмики / А. С. Алексеев, М. М. Лаврентьев, Р. Г. Мухометов, В. Г. Романов // *Мат. пробл. геофизики.* — 1969. — Вып. 1. — С. 179–201.
4. Пытьев Ю. П. Математические методы интерпретации эксперимента / Ю. П. Пытьев. — М., 1989. — 352 с.

5. Верлань А. Ф. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы / А. Ф. Верлань, В. С. Сизиков. — К. : Наук. думка, 1986. — 544 с.
6. Сизиков В. С. Обратные прикладные задачи и MatLab / В. С. Сизиков. — СПб. : Лань, 2011. — 256 с.
7. Мосенцова Л. В. Реализация метода моделирования для решения уравнений Фредгольма I рода в системе MATLAB / Л. В. Мосенцова // Сб. тезисов конф. «Интегральные уравнения». — К. : Изд-во ИПМЭ, 2009. — С. 110–112.

Work is devoted to the features of solving of problem of interpretation of supervisions in the integral raising.

Key words: *problem of interpretation of supervisions, integral models, regularization methods, regularization parameter, incorrectness.*

Отримано: 10.03.2014

УДК 62-83

М. С. Нікорюк*, канд. техн. наук,

В. М. Карпенко**, канд. техн. наук

*Донецький національний технічний університет, м. Донецьк,

**ДП «Науканафтогаз» НАК «Нафтогаз України», м. Вишневе

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЗМІНИ НАПРУГИ ЗАДАТЧИКА ІНТЕНСИВНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА БУРОВОЇ ЛЕБІДКИ ЛБ 650 Е

У статті розглянуто замкнену систему автоматичного керування напруги живлення на затискачах двигунів постійного струму з послідовним збудженням у перехідних режимах пуску. Розроблено алгоритм формування напруги задатчика інтенсивності, що дає змогу забезпечити швидкодію й мінімум часу на підйом чи спуск колони, при наступних обмеженнях:

$$i \leq I_{\max} ; u \leq U_{\max} .$$

Ключові слова: *бурова установка, система підйимального агрегату, електропривод, система Г-Д, двигун, пуск, напруга на затискачах двигуна, керування зміною напруги, задатчик інтенсивності.*

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Використання в якості виконавчих органів підйимального агрегату стаціонарних бурових установок високо обертових двигунів постійного струму з послідовним збудженням суттєво зменшує вагу агрегату. Для цих двигунів практично відсутні обґрунтовані методи їх керування, не розроблені алгоритми формування керуючого впливу — напруги живлення на затискачах двигунів у перехідних режи-