

3. При сильно колебательных переходных функциях для определения параметров объекта 3-го порядка в целях идентификации используется конец переходного процесса, по которому находятся все три полуса.

Л и т е р а т у р а

1. Солодовников В.В. О научных проблемах, связанных с разработкой и проектированием систем управления технологическими процессами. - В сб.: Опыт создания и внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами. Ч. I. Фрунзе, 1979, с. 10-15.

2. Техническая кибернетика. Ч. II / Под ред. В.В.Солодовникова. - М.: Машиностроение, 1967.

3. Стефани Е.И. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. - М.: Энергия, 1972.

4. Эйхгофф П. Основы идентификации систем управления. - М.: Мир, 1975.

5. Егоров С.В. Элементы идентификации и оптимизации управляемых систем. - М.:МЭИ, 1979.

6. Соколов Н.И. Аналитический метод синтеза линеаризованных систем автоматического регулирования. - М.: Машиностроение, 1966.

7. Гроп д. Методы идентификации систем. - М.: Мир, 1979.

УДК 519.24

К.В.И с а е в

О МЕТОДИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ АСНИ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ
НА АКТИВНУЮ ИДЕНТИФИКАЦИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

(г.Ростов-на-Дону)

Широкий класс задач экспериментальных исследований может быть сформулирован в терминах задач идентификации исследуемых объектов. АСНИ, ориентированные на эти задачи, хотя и зависят в определенной мере от класса объектов, могут быть построены в то же время на единой методической основе, базирующейся на общей концепции активной идентификации.

Первым этапом формирования задачи идентификации является приведение теоретической модели (ТМ) исследуемого объекта к модели интер-

претации экспериментальных данных (МИЭД). ТМ представляет собой систему уравнений (для динамических объектов обычно дифференциальных), записанных относительно переменных, удобных в теоретических рассуждениях. МИЭД основывается на ТМ, но записывается относительно непосредственно наблюдаемых (измеряемых) в эксперименте переменных и учитывает особенности экспериментальной установки, передаточные свойства измерительных трактов, временные диаграммы измерений, характер помех наблюдений, возможности управления экспериментом.

Наиболее существенным отличием ТМ от МИЭД является стохастический характер последних, связанный, прежде всего, с помехами измерений и неучтенными факторами эксперимента, — достаточно полная МИЭД включает в себя модель наблюдений, отражающую в себе всю имеющуюся информацию о статистических характеристиках помех. На практике, однако, информация такого рода частот считается неполной, поэтому, по мнению некоторых авторов, основанием предпочтительного использования эвристических методов статистическим методам идентификации. На самом же деле статистическая теория определяет алгоритмы идентификации во всех случаях, когда это может быть сделано на основе интуитивного подхода при условии, что класс допустимых расхождений между реальными наблюдениями и их предполагаемыми значениями как-то ограничен. Если, например, класс расхождений определен лишь значениями нескольких первых моментов распределения вероятностей, то тип распределения может оказаться неопределенным. Это обстоятельство не должно смущать исследователя. В классе всевозможных распределений с заданными первыми моментами всегда существует распределение, характеризующееся максимальной свободой выбора — максимальной энтропией. Очевидно, что построенные на основе этого распределения алгоритмы идентификации относятся к минимаксному типу, т.е. исследователь рассчитывает на худший случай. При статистическом подходе, кроме того, указывается предельный минимум знаний, при котором может быть построен обоснованный алгоритм идентификации, предлагаются оптимальные алгоритмы управления экспериментом. Такой подход позволяет определить место и внутреннюю сущность интуитивно выбираемых критериев и алгоритмов и обосновать процедуры оптимального управления экспериментом.

Имеет смысл различать две формы задачи идентификации — количественную и качественную. В первом случае считается, что МИЭД определена с точностью до некоторого вектора параметров C , оцениваемого по экспериментальным данным (наблюдениям) X . Такая МИЭД, называемая количественной, порождает по существу способ

вычисления плотности распределения вероятностей $p(x/c)$ наблюдения X при условии, что вектор оцениваемых параметров имеет значение c . Качественная МИЭД определена с точностью до q гипотез H_1, H_2, \dots, H_q и порождает распределение вероятностей $p(x/H_i)$. Интерпретация наблюдений X , не приводящая к потере информации, сводится в самом общем случае к применению формулы Байеса для вычисления выборочных функций плотности распределения вероятностей $p(c/X)$ или $p(H_i/X)$:

$$p(c/x) = K p(x/c) p(c),$$

$$p(H_i/x) = K p(x/H_i) p(H_i), \quad (1)$$

где K - нормирующий множитель, не зависящий от c и H_i . Возможен смешанный тип интерпретации (качественно-количественный), когда одновременно с выбором той или иной структуры модели (гипотезы H_i) необходимо также высказаться о значениях ее параметров. Ниже мы будем рассматривать только количественные МИЭД. Порождаемые ими методы идентификации и управления экспериментом имеют много общих черт с методами качественной и смешанной идентификации.

Характерным типом количественных динамических МИЭД может служить модель

$$\bar{y}(t) = A_c \{u(t), v, c\} + e(t), \quad (2)$$

где $\bar{y}(t)$ - наблюдаемый в моменты времени $t = 1, 2, \dots, N$ с аддитивной помехой $e(t)$ вектор выходов модели,

где $\bar{y}(t)$ - оператор (например, заданный системой дифференциальных уравнений), действующий на вектор $u(t)$ управляющих (тестирующих) процессов и определенный с точностью до вектора v свободных параметров (факторов) эксперимента и вектора c оцениваемых параметров объекта.

Наблюдение X представляется, таким образом, последовательностью случайных векторов $\{\bar{y}(1), \bar{y}(2), \dots, \bar{y}(N)\}$. Полагая помеху $e(t)$ стационарной, независимой в различные моменты времени наблюдения и нормально распределенной с дисперсионной матрицей R , получаем

$$\rho(c/x) = K \rho(c) \prod_{i=1}^N (2\pi)^{-\frac{1}{2}} (\det R)^{-\frac{1}{2}} \exp [-0,5(\bar{y}(i) - A_i \{u(\tau), v, c\})^T R^{-1} (\bar{y}(i) - A_i \{u(\tau), v, c\})].$$

(3)

При разработке методического обеспечения АСНИ возникают две следующие связанные между собой задачи:

1. Получение оценки \bar{c} параметра c . Потребителя результатов эксперимента, несмотря на информационную полноту их представления в форме (3), эта форма обычно не устраивает из-за своей громоздкости. Потребителю, как правило, требуется единственная оценка \bar{c} параметра c и, возможно, некоторая точностная характеристика этой оценки. Поэтому обычно формируется некоторый функционал вида

$$I(x, \bar{c}) = E_{c/x} \{Q(c(x) - \bar{c})\},$$

(4)

из условия минимума которого определяют оценку \bar{c} .

Здесь x - реализация наблюдения X , $E_{c/x}$ - оператор условного математического ожидания по распределению (3) (в общем случае (1)), $Q(\cdot)$ - функция штрафа за ошибку $(c - \bar{c})$. Различным функциям $Q(\cdot)$ соответствуют широко известные методы оценивания: максимального правдоподобия, максимума апостериорной вероятности, условного математического ожидания и др. [1].

2. Оптимальное управление экспериментом. Как видно из выражения (3), управление экспериментом с помощью тектурирующих процессов $u(t)$ и свободных параметров (факторов) v может существенно влиять на распределение $\rho(c/x)$ и, следовательно, на информацию о параметре c в нем содержащуюся. В общем случае критерий оптимальности эксперимента может быть записан в виде некоторой точностной характеристики оценки:

$$J\{u(t), v\} = G\{\rho(c/x)\},$$

(5)

где G - некоторый фиксированный функционал распределения $\rho(c/x)$.

При этом могут быть сформулированы две задачи оптимизации эксперимента: задача минимизации (максимизации) $J(\text{по } u(t) \text{ и } v)$ при ограниченном времени эксперимента N и задача минимизации N при заданной величине изменения J . Обе эти задачи, разумеется, должны решаться при некоторых естественных ограничениях вида $u(t) \in U$, $t \in [0, N]$; $v \in V$.

Поскольку до проведения эксперимента реализация x наблюдения X неизвестна, то априори спланировать эксперимент по критерию (5) в общем случае не представляется возможным. Естественным поэтому представляется замена критерия (5) критерием

$$\bar{J}\{u(t), v\} = E_x\{c\{p(c/x)\}\}, \quad (6)$$

в котором математическое ожидание берется по априорному распределению $p(x) = \int p(c)p(x/c)dc$.

По мере привлечения новой экспериментальной информации при вычислении этого распределения можно вместо $p(c)$ использовать распределение (1) и тем самым постепенно приближать критерий (6) к "истинному" критерию (5). Таким образом, приходим к схеме последовательного локального планирования эксперимента, когда последовательность "планирование - эксперимент - идентификация - уточнение критерия оптимальности эксперимента" повторяется до тех пор, пока не будут достигнуты необходимые результаты [2]. При такой схеме важным является вопрос о выборе интервала планирования N , характеризующего "степень локальности" процедуры последовательного планирования. Удовлетворительное решение этого вопроса может дать следующий общий алгоритм проведения эксперимента:

1. Для заданного $p(c)$ решается задача минимизации времени эксперимента N (по $u(t) \in U$ и $v \in V$) при ограничении $\bar{J}(u(t), v) \leq J_0$, где J_0 - желаемое значение функционала (5).

2. При полученных $u(t)$ и v ставится эксперимент, по результатам которого проводится идентификация и уточняется $\bar{J}(u(t), v)$. Если $\bar{J}(u(t), v) \leq J_0$, эксперименты больше не проводятся. В противном случае при новом распределении $p(c) = p(c/x)$ переходят к выполнению п. 1.

Описанный алгоритм так же, как и другие возможные общие алгоритмы ведения эксперимента, включает в себя алгоритмы решения сформулированных выше задач, которые, на наш взгляд, должны составлять основу методического обеспечения обслуживающей подсистемы рассмотренного класса АСНИ.

Л и т е р а т у р а

1. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения. - М.: Мир, 1974. - 492 с.
2. Круг Г.К., Сосудин Ю.А., Фатуев В.А. Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. - М.: Наука, 1977. - 208с.

УДК 681.3.06

А.М.Белевцев, В.А.Цыбагов, В.И.Шапошников

**ДИАЛОГОВЫЙ МНОГОМАШИННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

(гг.Москва - Куйбышев)

Как объект проектирования неоднородная система (НС) характеризуется большой сложностью и разнородностью по аппаратному составу и функциональному назначению элементов. Введение в состав НС специализированных ЭВМ (СЭВМ) значительно расширило функциональные возможности НС, однако и усложнило процесс ее проектирования. В общей последовательности этапов проектирования НС наиболее сложным и трудоемким является этап исследований и отработки НС. Сокращение сроков, повышение качества и уровня отработки НС возможно лишь путем создания комплексов автоматизированных исследований (КАИ) НС. Эффективность КАИ НС определяется возможностями, которые будут представлены разработчику НС для решения задач исследований и отработки НС, а также уровнем автоматизации их решения.

Анализ проектных задач, стоящих перед разработчиком НС на этапе исследований и опыта существующих разработок [1,2], позволил определить целевое назначение комплекса:

автоматизация исследований характеристик и параметров НС;
комплексная отладка программного обеспечения (ПО) СЭВМ НС;
автоматизированный контроль и диагностика НС.

Для достижения указанных целей необходима организация работы КАИ в нескольких режимах (режимы А, В и С).

В режиме А объект исследований (НС) полностью представлен реальной аппаратурой. КАИ должен обеспечивать определение инструментальных погрешностей НС, контроль функционирования последней. Наряду с этим в режиме А может проводиться комплексная отладка ПО СЭВМ НС. Возмож-