Системы компьютерной математики как необходимый элемент формирования умений // Научно-Технические Ведомости СПбГТУ 3'2002. Мин.Образование Российской Федерации СПбГТУ. С.16-22

Р.И. ИВАНОВСКИЙ

СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ УМЕНИЙ

Обеспечение требуемого качества образовательного процесса предполагает необходимость достижения баланса таких емких категорий как ЗНАНИЕ и УМЕНИЕ. Роль последней категории в современных условиях и будущем резко повышается в связи с требованиями рынка труда.

В настоящий момент методы, стратегия и тактика подготовки вузами специалистов не свободны от некоторых недостатков, среди которых:

- доминирование чтения лекций с контролем знаний на зачетах и экзаменах;
- слабое использование информационных технологий и компьютерной техники для практической иллюстрации особенной изучаемых методов;
- замена серии практических занятий выдачей емкого расчетного задания.

При таком подходе к подготовке кадров в лучшем случае гарантируется достаточный уровень ЗНАНИЙ; при этом уровень УМЕНИЙ не может быть выведен на необходимую высоту. Отмеченное определяет необходимость применения, наряду с традиционными, новых технологий образования, основанных на широком использовании современных информационных технологий (ИТ) при подготовке специалистов, кадров высшей квалификации и переподготовке существующего контингента специалистов.

Любая техническая дисциплина предполагает теоретические, практические и/или лабораторные занятия. Они направлены на приобретение студентом необходимых ЗНАНИЙ, формирование у него соответствующих УМЕНИЙ. Последнее в немалой степени, если не в основном, относится к умению применять теоретические положения (знания) к решению практических задач, умению доводить «до числа» результаты анализа. Базой для этого служат знание математических методов решения, умение формализовать рассматриваемую задачу и применять ИТ для ее решения. Обеспечение должной полноты УМЕНИЙ в соответствии с квалификационной характеристикой конкретной специальности требует от преподавателей подготовленности не только в теоретической части, но и в плане практических навыков. Эта подготовленность обеспечивает преподавателю свободу творческого поиска, простоту формирования вариантов индивидуальных заданий, возможность оперативной оценки полученных студентом результатов на каждом практическом занятии.

При решении прикладных задач широкое применение нашли программные системы компьютерной математики (СКМ) универсального типа (MathLAB, MathCAD, Mathematica, Maple и др.). Выбор СКМ зависит от конечных целей их использования, классов задач, научного направления работ и многого другого. Все типы СКМ имеют единое назначение: автоматизировать процесс решения задач и получение конечного результата в числовой, формульной, графической формах; освободить пользователя от непродуктивных затрат времени. Все СКМ имеют достаточно мощный арсенал средств для решения задач различных классов, оснащены большим числом встроенных функций, средствами символьных преобразований, визуализации, анимации и проч.

Одной из СКМ, которую можно с успехом использовать на этапах школьного и вузовского образования (а, в большинстве случаев, и в профессиональной деятельности) является система MathCAD Pro – профессиональная версия известной СКМ фирмы MathSoft (США). Эта универсальная СКМ отличается от других простотой, отсутствием высоких требований к пользователю как к программисту, возможностью использования для преобразования данных в различных форматах; при этом система предлагает пользователю широкий набор “шаблонов” (предварительно запрограммированных на языке С++ процедур) и встроенных функций для решения любых математических задач, визуализации результатов с помощью 2D и 3D-графиков, достаточно мощный арсенал операторов символьного преобразования математических выражений, решения систем алгебраических и дифференциальных уравнений, неравенств, циклических и рекуррентных процедур и проч. [1].

Знание основ применения СКМ существенно облегчает получение конечного результата и его графическое представление, подготовку и оформление пояснительных записок, отчетов, статей, и проч. Необходимость использования СКМ возникает, когда в процессе изучения дисциплины студент практически применить полученные теоретические знания для решения серии уже достаточно сложных прикладных задач. Отказ от применения СКМ на этих этапах будет неизбежно приводить к снижению качества подготовки ввиду сокращения числа рассматриваемых задач, возникновению негативного процесса скрытой подмены одной дисциплины другой. Нетрудно привести примеры этих явлений и представить возможные последствия. Начнем с простых задач, переходя затем к более сложным, в среде MathCAD Pro.

Пример 1. В процессе изучения одной из дисциплин направления системного анализа преподаватель ставит перед студентами типовую задачу построения математической модели динамического объекта по данным наблюдений. Преподаватель и студенты ЗНАЮТ, как формализовать задачу, ЗНАЮТ методы поиска экстремума функций многих переменных. Однако этого мало, поскольку нужно дойти до численного решения задачи, т. е. УМЕТЬ практически реализовать эти знания. Возникают два варианта:

- не располагая знанием и практикой применения СКМ, преподаватель рекомендует студентам разработать и отладить программу решением задачи на одном из языков программирования. Время, затраченное на это, может измеряться неделями. Вместо занятия курсом, в котором изучаются подобные задачи, студент будет вынужден большую часть времени заниматься программированием;

- знаяодну из СКМ, преподаватель, опираясь на собственный опыт, рекомендует использовать ее конкретную встроенную процедуру. Студенты решают задачу на том же практическом занятии, анализируют ее при других исходных данных или переходят к следующей профильной задаче, интенсивно наращивая багаж ЗНАНИЙ на базе УМЕНИЙ.

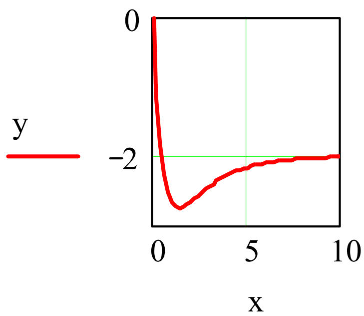
Решение одной из подобных задач в среде MathCAD 2001Pro приведено на рис.1. Массив исходных данных объединен вектором **y** и аппроксимируется функцией *Y*. Поиск минимума осуществляется по искомым параметрам (вектор **A**) модели с использованием критерия z(**A**) и встроенной функции **Minimize**. Полученные параметры составляют вектор **A0**.

$$i := 0 .. 50 \qquad x_i := 0.2 \cdot i$$

$$y_i := 2\cdot\left(1 - e^{-0.5\cdot x_i}\right) - 4\cdot\left(1 - e^{-2\cdot x_i}\right) \qquad y_0 = 0$$

$$Y(i,A) := A_1\cdot\left(1 - e^{-A_0\cdot x_i}\right) - A_3\cdot\left(1 - e^{-A_2\cdot x_i}\right)$$

$$\Delta(i,A) := \frac{\left(Y(i,A) - y_i\right)^2}{\left(y_{50}\right)^2}$$



$$z(A) := \sum_{i=0}^{50} \Delta(i,A)$$

$$A0 := \text{Minimize}(z, A) \qquad z(A0) = 0$$

$$A0^T = (\,0.5003 \quad 2.0013 \quad 1.9994 \quad 4.0014\,)$$

Рис.1. Решение примера 1.

Пример 2. Более сложные задачи возникают при исследования детерминированных и стохастических систем. Без решения задач подобного класса не могут обойтись многие дисциплины, связанные с системами управления, системным анализом, анализом и синтезом информационно-управляющих систем и т. д.. Рассмотрим простейшую непрерывную одномерную линейную динамическую систему, заданную своей передаточной функцией $W(p)$. Без потери общности будем считать, что $W(p)$ является правильной и соответствует устойчивой системе, т.е. $W(\infty) = 0$, $W(0) = h(\infty)$. Здесь $h(\infty)$ – установившееся значение переходной характеристики.

Пусть задана передаточная функция системы:

$$W(p) = (0.4p^2 + 0.6p + 0.1)/(4p^3 + 6.4p^2 + 3.4p + 1).$$

Поставим задачу проанализировать динамические свойства этой системы, ее реакцию на единичный скачок, а также на входной случайный процесс типа белого шума. Для анализа во временной области осуществим стандартный переход к форме Коши

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u;\;\; y = \mathbf{H}\mathbf{x};\;\; \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0\,, \qquad (1)$$

с последующим использованием одной из встроенных функций MathCAD для интегрированием дифференциальных уравнений. Динамические свойства детерминированной системы определяются собственными числами матрицы **A,** или, что то же, корнями полинома знаменателя $W(p)$:

$$\mathrm{eigenvals}(A) = \begin{pmatrix} -0.3 + 0.4i \\ -0.3 - 0.4i \\ -1 \end{pmatrix}.$$

Полученные корни системы позволяют оценить время затухания, которое для нашей системы составит от 10 до 17 единиц времени (5%-ная зоны и 1%-ная зоны затухания). Колебательность переходного процесса определяется мнимой частью комплексных корней. Для нашего случая период колебаний определяется величиной 2π / 0.4 ≈ 15,7 единиц времени. Реакция системы на белый шум $w(t)$ с интенсивностью q будет определяться по крайней мере двумя первыми моментами распределения вероятностей, т.е. математическим ожиданием и дисперсией. Наибольший интерес представляет анализ дисперсионных свойств системы и ее выходной переменной $y(t)$.

Характер изменений во времени всех вторых моментов вектора **x** и выходной переменной y системы (1) полностью определяется ковариационным уравнением вида

$$\dot{\mathbf{P}} = \mathbf{AP} + \mathbf{PA} + \mathbf{BQB}^{\mathbf{T}};\; P_y = \mathbf{HPH}^{\mathbf{T}};\quad \mathbf{P(0)} = \mathbf{P_0}\,. \qquad (2)$$

Здесь **P** – ковариационная матрица вектора **x**, содержащая дисперсии элементов вектора **x** на своей главной диагонали; **Q** – матрица интенсивностей (в нашем случае $\mathbf{Q} = q$); P_y – дисперсия выходной переменной системы.

Численное интегрирование ковариационного уравнения с помощью СКМ возможно в матричной форме. Однако, определение динамических свойств дисперсий элементов вектора **x** возможно лишь при переформировании уравнения (2) в форму Коши типа (1). Число уравнений в (2), подлежащих интегрированию для системы n-го порядка равно $n(n + 1)/2$. Необходимые выражения получают символьными преобразованиями правой части ковариационного уравнения (2) [1]:

$$d\mathbf{p}/dt = \mathbf{ARp} + \mathbf{BR};\; r = \mathbf{HRp};\qquad \mathbf{p}(0). \qquad (3)$$

Здесь r – дисперсия выходной переменной, $\mathbf{p}(0)$ – (6 x 1)-вектор начальных значений элементов ковариационной матрицы **P**. Структура матриц **AR, BR, HR** приведенной системы дифференциальных уравнений будет зависеть от порядка перечисления элементов матрицы **P** в векторе **p**.
Собственные числа матрицы **AR** в нашем примере равны [1]:

$$(-0.6 + 0.8i \;\; -0.6 - 0.8i \;\; -2 \;\; -1.3 + 0.4i \;\; -1.3 - 0.4i \;\; -0.6) \qquad (4)$$

т. е. три собственных числа матрицы **AR** динамики ковариационного уравнения соответствуют удвоенным собственным числам (3) матрицы **A** исходной системы. Остальные три собственных числа (4) матрицы **AR** образуются попарными суммами корней исходной системы. Для нашего случая процесс изменения дисперсии $r(t)$ выходной переменной системы будет затухать ровно вдвое быстрее, чем переменная $y(t)$, т.е. за 5–8.5 единиц времени. Выявленный факт удвоения темпа переходного процесса важно учитывать при выборе интервалов дискретности при численном интегрировании ковариационных уравнений или использовании эквивалентных разностных уравнений. Фрагмент MathCAD 2001Pro с вычислением собственных чисел матрицы **AR** и график с процессами изменения выходной переменной (y) и ее дисперсии (r) приведен на рис. 2. Для интегрирования была использована встроенная функция **rkfixed**, реализующая метод Рунге-Кутта с фиксированным шагом.

$$\mathrm{eigenvals}(AR) = \begin{pmatrix} -0.6 + 0.8i \\ -0.6 - 0.8i \\ -2 \\ -1.3 + 0.4i \\ -1.3 - 0.4i \\ -0.6 \end{pmatrix}$$

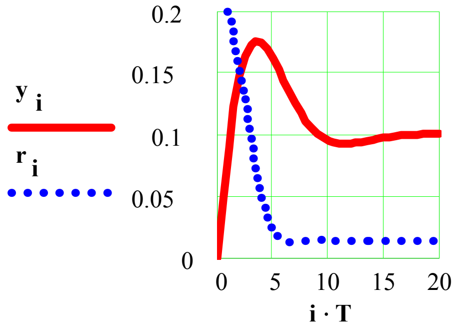


Рис.2. Фрагмент анализа стохастической системы.

В общем случае отмеченное свойство позволяет сформулировать следующие утверждения:

1. динамика вторых центральных моментов векторного случайного процесса (1) ускоряется вдвое;
2. n собственных чисел матрицы **AR** равны удвоенным собственным числам матрицы **A** системы (1);
3. $n(n-1)/2$ остальных собственных чисел **AR** образуются попарными суммами собственных чисел матрицы **A**.

Применение символьных преобразований MathCAD обеспечило выявление этого практически важного свойства ковариационных уравнений. Без использования СКМ подобный анализ был бы практически невозможен.

Пример 3. Широкий круг задач анализа и синтеза динамических систем в условиях неопределенности априорной информации связан с необходимостью определения параметров динамических звеньев, в качестве которых могут выступать отдельные блоки объекта управления, управляющей части, вся система в целом. Подобная проблема возникает, в частности, при разработке математических моделей систем и их фрагментов по полученным реакциям на известные входные воздействия [2, 3].

В этих задачах определению подлежат параметры аппроксимирующего выражения, заданного в одной из взаимосвязанных форм: в виде передаточной функции, системы дифференциальных уравнений, z-передаточной функции, разностных уравнений.

Среди множества подходов к решению подобных задач выделим методы, позволяющие во временной области получить параметры (коэффициенты) каждой из перечисленных выше взаимосвязанных форм представления динамических звеньев. Выбор временной области объясняется универсальностью и простотой беспоисковых алгоритмов определения параметров, получаемых в результате. Основу таких алгоритмов составляют обычные операции линейной алгебры. Однако, задачи подобного класса связаны с решением линейных алгебраических уравнений, матрицы которых могут обладать плохой обусловленностью, что требует, например, выбора соответствующих коэффициентов обусловленности. Проблема решения таких уравнений может рассматриваться в ряде дисциплин общепрофессиональной группы, но, как и в предыдущих случаях, теоретическое рассмотрение методов решения этих распространенных задач, без погружения студентов в тонкости достижения достоверного результата, не в состоянии обеспечить должный уровень умений. Программирование необходимых для решения алгоритмов на языках высокого уровня возможно, но также непродуктивно по соображениям больших затрат времени в процессе изучения конкретной дисциплины на создание программ. В то же время применение СКМ обеспечивает необходимые средства для приобретения практических навыков решения этих достаточно емких задач. Не описывая подробности алгоритмов, остановимся здесь лишь на основах подхода к их формированию и возможности выбора требуемых коэффициентов обусловленности. Теоретические основы и примеры решения подобных задач рассматриваются в работах [1, 2, 3].

Пусть дискретное линейное динамическое звено n-го порядка представлено своими входным сигналом u и выходным сигналом y, значения которых определены через интервал дискретности T. Пусть также z-передаточная функция звена имеет вид:

$$W(z) = \mathbf{H1}\cdot(z\cdot\mathbf{E}_n - \mathbf{\Phi 1})^{-1}\,\mathbf{\Gamma 1};\qquad \mathbf{\Gamma 1} = \mathbf{M}^{-1}\,\mathbf{d};\ \mathbf{H1} = |\,1\ 0\ ..\ 0\,|; \qquad (5)$$

$$\mathbf{\Phi 1} = \begin{vmatrix} \Theta\,|\ \mathbf{E}_{n-1} \\ \dots\dots\dots \\ -\mathbf{s}^T \end{vmatrix};\qquad \mathbf{M} = \begin{vmatrix} 1 & & & \\ c_1 & 1 & & 0 \\ c_2 & c_1 & 1 & \\ c_3 & c_2 & c_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n-1} & c_{n-2} & .c_2 & c_1\ 1 \end{vmatrix};\ \mathbf{d} = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ . \\ . \\ . \\ d_n \end{vmatrix};\ \mathbf{s} = \begin{vmatrix} c_n \\ c_{n-1} \\ . \\ . \\ . \\ c_1 \end{vmatrix}.$$

Неизвестные векторы **c** и **d** содержат коэффициенты полиномов знаменателя и числителя $W(z)$ соответственно. Нулевой вектор **Θ** и матрица **E** имеют порядок $(n-1)$. Каноническая реализация $Rd_1 = (\mathbf{\Phi 1}, \mathbf{\Gamma 1}, \mathbf{H1})$ с матрицами вида (5) может быть образована из любой другой полностью наблюдаемой реализации Rd = (**Ф**, **Г**, **Н**) изменением ее базиса пространства состояний с помощью собственной матрицы наблюдаемости **Nd** реализации Rd [2, 3].

Таким образом, имеем множество результатов измерений y_i, u_i, $i = (\overline{0, N})$, которое необходимо использовать для получения $2n$ элементов вектора **g**:

$$\mathbf{g}^{\mathrm{T}} = |-\mathbf{c}^{\mathrm{T}},\ \ \mathbf{d}^{\mathrm{T}}|; \qquad \mathbf{c}^{\mathrm{T}} = |c_1, c_2, \ldots c_n|; \qquad \mathbf{d}^{\mathrm{T}} = |d_1, d_2, \ldots d_n| \tag{6}$$

и передаточных функций $W(p)$, $W(z)$, а также матриц разностных и дифференциальных уравнений. Процедуры пересчета элементов вектора **g** в параметры других перечисленных выше форм представления динамического звена основаны на взаимно обратных преобразованиях, которые подробно рассматриваются в [2, 3] и здесь опущены.

Поставленная задача может быть решена с применением ряда подходов, относящихся к классу решений систем линейных алгебраических уравнений. Основой этих подходов служит метод наименьших квадратов в форме обобщенного обращения матриц или в рекуррентной форме. Проблема существования решения и выбора допустимого вида входного сигнала в рассматриваемой задаче обсуждается в [2].

Для получения решения методом наименьших квадратов отметим, что входные и выходные сигналы звена, а также искомый вектор **g** связаны очевидным соотношением

$$y_k = \mathbf{f}_{k-1}^T \cdot \mathbf{g}; \quad \mathbf{f}_{k-1}^T = (y_{k-1} .. y_{k-n} \,|\, u_{k-1} .. u_{k-n}), \tag{7}$$

где вектор **g** имеет структуру (6).

Измеряя значения входных сигналов и соответствующей выходной реакции системы через q тактов (q = 1,2,3...), получаем систему L уравнений ($L \geq 2n$)

$$\mathbf{Y}_L = \mathbf{F}_L\,\mathbf{g}; \qquad \mathbf{F}_L = \begin{vmatrix} \mathbf{f}_{k-1}^T \\ \mathbf{f}_{k+q-1}^T \\ . \\ . \\ \mathbf{f}_{k+(L-1)\cdot q-1}^T \end{vmatrix}; \ \mathbf{Y}_L = \begin{vmatrix} y_k \\ y_{k+q} \\ . \\ . \\ y_{k+(L-1)\cdot q} \end{vmatrix}. \tag{8}$$

Решение системы уравнений (8) будем искать в виде, характерном для некорректных задач:

$$\hat{\mathbf{g}}_L = (\boldsymbol{\varepsilon}\mathbf{E}_{2n} + \mathbf{F}_L^{\ T} \cdot \mathbf{F}_L)^{-1}\, \mathbf{F}_L^{\ T} \cdot \mathbf{Y}_L, \tag{9}$$

где: $\hat{\mathbf{g}}_L$ – ($2n \times 1$) – вектор оценок искомых параметров по результатам решения L уравнений, $\mathbf{E}_{2n}$ – единичная матрица порядка $2n$, $\boldsymbol{\varepsilon}$ – параметр регуляризации, обеспечивающий достижение решения в случае плохой обусловленности матрицы ($\mathbf{F}_L^{\ T} \cdot \mathbf{F}_L$).

В общем случае проблема решения подобных некорректных задач не всегда сопряжена с возможностью выработки конструктивных рекомендаций по повышению достоверности получаемых результатов. Общий случай выходит за рамки настоящего материала. Однако для задач рассматриваемого типа могут быть рекомендованы некоторые практические приемы достижения и повышения точности решения. Это объясняется возможностью оценки достоверности получаемых параметров путем сопоставления исходной информации с теми реакциями звена, которые получаются при найденных значениях параметров. К мерам повышения достоверности оценок параметров можно отнести использование дополнительных данных о наблюдаемых процессах (установившиеся значения переходных характеристик, теоретические значения производных и проч.) и выбор необходимых коэффициентов регуляризации [1, 3].

При выборе параметра регуляризации ε целесообразно использовать интегральные критерии. Один из вариантов таких критериев имеет вид

$$\eta(\hat{\mathbf{g}})=\sum_{i=0}^{N}\frac{[z(\hat{\mathbf{g}})_i-y_i]^2\rho_i}{y_N^2} \qquad (11)$$

и может применяться для проверки качества оценок, получаемых алгоритмом (9). Здесь $z(\hat{\mathbf{g}})$ – переходная характеристика звена, параметрами которого являются элементы полученного вектора $\hat{\mathbf{g}}$; y – заданная переходная характеристика звена; ρ – весовые коэффициенты; N - максимальное число шагов процесса вычислений (измерений).

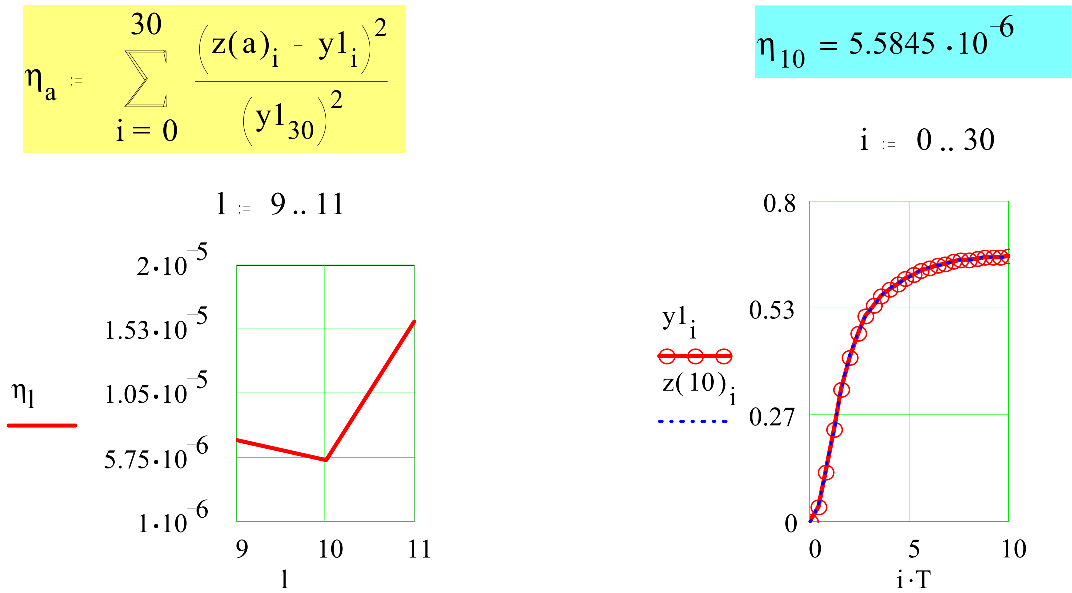
Выражение (11) – одна из множества унимодальных функций рассогласования истинного и полученного в результате оценки параметров выходного процесса исследуемого звена на выбранном интервале наблюдения. Весовые коэффициенты ρ призваны выделить наиболее информативный участок выходных процессов звена. Минимальное значение переменной η при вариации параметра ε в области его определения позволяет определить его наиболее приемлемое значение для конкретной задачи. Алгоритм поиска ε в рассматриваемой постановке может быть основан на одном из методов поиска экстремума функций нескольких переменных – градиентном, методе наискорейшего спуска, методе возможных направлений, методе деления отрезка пополам и т.д. При определении параметра ε удобно использовать его представление в виде $\varepsilon = (0.1b)10^{-a}$.

Рис. 3 иллюстрирует процедуру применения критерия (6) при выборе параметра регуляризации в задаче определения вектора $\mathbf{g}$ для звена с передаточной функцией

$W(p) = (0.5p + 1)/(p^3 + 2.5p^2 + 4p + 1)$.

На рис. 3, *а* приведены результаты выбора показателя степени *a* параметра регуляризации в диапазоне $a = 9..11$ при $b = 10$. Из графика (см. рис.3, *а*) видно, что минимум критерия (6) достигается при $a = 10$ и равен $\eta = 5.58\cdot 10^{-6}$. Для найденного параметра регуляризации $\boldsymbol{\varepsilon} = 10^{-10}$ с использованием алгоритма (9) был получен вектор $\hat{\mathbf{g}}(10) = (1.951,\ -1.376,\ 0.368,\ 0.0368,\ 0.0162,\ -0.0146)$. График, изображенный на рис.3, *б*, иллюстрирует высокую степень совпадения полученной $z[\hat{\mathbf{g}}(10)]$ и истинной $y1$ переходных характеристик.

Поиск константы b производится аналогично. Для рассматриваемого примера определение b осуществлялось в диапазоне b = 5..7 при зафиксированном a = 10. При окончательном значении $\boldsymbol{\varepsilon} = 0.6 \cdot 10^{-10}$ минимум функции (10) по сравнению с полученной ранее величиной η изменился незначительно. Расчеты проводились в среде MathCAD 7.0 Pro.



а) *б*)

Рис.3.Результаты решения примера 3

Подход, аналогичный описанному, может быть применен и к рекуррентной процедуре получения оценок искомого вектора **g** [1].

Каждый из рассмотренных примеров свидетельствует о простоте и практической целесообразности применения СКМ для формирования умений в процессе изучения конкретных дисциплин. При этом технология подготовки к проведению практических занятий предельно проста: преподаватель предварительно решает с помощью СКМ типовую задачу, получает базовую программную конструкцию и конечный результат в числовой или символьной формах. Это позволяет сформировать нужное количество вариантов исходных данных для индивидуальных заданий на очередном практическом занятии.

Заканчивая обсуждение необходимости применения СКМ при подготовке специалистов, отметим, что программа широкого внедрения ИТ в систему образования требуют привлечения кадров соответствующего уровня. Это – отдельная проблема, заслуживающая детального рассмотрения. Отметим здесь лишь то, что реализация этой программы на начальном этапе потребует стартового коллектива специалистов высшей квалификации. Анализ показывает, что такими специалистами высшая школа в настоящее время обладает. Пополнение кадров соответствующей квалификации в следующих периодах реализация будет происходить по результатам применения новых технологий образования на предыдущих этапах. Остается проблематичным полноценное участие основной массы действующих кадров высшей школы в реализации указанной программы. Известные условия, в которые была поставлена высшая школа, длительное время не обеспечивали необходимых стимулов к самосовершенствованию и творческому росту преподавателей. Это привело к тому, что действующие кадры, в подавляющем большинстве имеющие высокий научный и теоретический потенциал, оказался, с точки зрения перехода на новые технологии образования, резко неоднородным.

По-видимому, нельзя согласиться с мнением ряда ответственных лиц, рассчитывающих на постепенный естественный уход этого контингента на заслуженный отдых и замещение его молодыми кадрами. Учитывая уровень оплаты труда профессорско-преподавательских кадров и искусственно заниженную престижность ученых степеней, естественный процесс замещения кадров может растянуться на десятилетие с возможными негативными последствиями.

Более прогрессивный подход может быть основан на неформальной переподготовке действующих кадров по программам, которые должны соответствовать профилю их деятельности в конкретной области знаний. Неформальность такой переподготовки служит необходимым условием этого своеобразного upgrade "человеческого фактора" и должна быть востребована самим преподавателем как средство достижения свободы творческого поиска в последующий период работы. Программы переподготовки должны разрабатываться на кафедрах, интегрироваться факультетами и содержать необходимый минимум знаний и умений в области информационных технологий. Программы могут играть роль пороговых требований при условном конкурсном замещении соответствующих должностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ивановский Р.И.** Компьютерные технологии в науке и образовании. Практика применения систем MathCAD 7.0 PrO, MathCAD 8.0 Pro и MathCAD 2000 Pro: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. 201 с.

2. **Ивановский Р.И.** Об одном преобразовании в задачах определения параметров непрерывных динамических систем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1973, № 1, с.180-189.

3. **Ивановский Р.И.** Проблема обеспечения сходимости вычислительного процесса в одной задаче определения параметров моделей стохастических систем. Int. Conf. “Intelligent Systems and Information Technologies in Control” (IS&ITC – 2000), St.Peterburg / Pscov, SPbSTU Published, 2000, c. 235-238.