

Получение математического описания динамических объектов по экспериментальным данным на основе вещественного интерполяционного метода*

А.С. АЛЕКСЕЕВ, С.В. ЗАМЯТИН, М.С. СУХОДОЕВ, М.В. ПУШКАРЕВ

В работе рассмотрены вопросы получения математических описаний объектов управления с помощью вещественного интерполяционного метода по экспериментальным данным в форме передаточных функций. В качестве данных эксперимента используется информация о переходной функции изучаемого объекта. Предложены способы определения структуры и параметров передаточных функций получаемых моделей. Даны практические рекомендации относительно техники вычисления этих оценок. Рассмотрен численный пример.

Ключевые слова: математические модели, переходная функция, вещественное интегральное преобразование, вещественный интерполяционный метод.

ВВЕДЕНИЕ

Задача определения математических моделей объектов играет важную роль при проектировании, эксплуатации и диагностике систем автоматического управления. Определение вида математической модели и параметров объекта управления позволяет с более высокой точностью осуществлять расчет и настройку корректирующих устройств, строить самонастраивающиеся системы, а также учитывать характерные особенности объекта управления.

Для получения описания линейных объектов вида «вход-выход» удобно в качестве математических моделей использовать их передаточные функции. В этом случае задача определения математического описания объекта состоит в решении двух подзадач. Первая из них называется структурной идентификацией и заключается в нахождении структуры математической модели, т. е. в определении порядков полиномов, стоящих в числителе и знаменателе передаточной функции. Решение второй подзадачи – параметрической идентификации – заключается в определении коэффициентов передаточной функции с учетом заданной структуры.

Для случая, когда динамика исследуемого объекта может быть описана с помощью линейных дифференциальных уравнений, существует довольно большое количество решений задачи идентификации [1].

Достаточно высокую эффективность в решении задачи параметрической идентификации показал вещественный интерполяционный метод [2; 3]. При этом формализованного и алгоритмически эффективного решения задачи структурной идентификации в рамках этого метода не предложено. В работе [2] рекомендуется идентифицировать структуру передаточной функции методом перебора, начиная с объекта 1-го порядка с последующим увеличением порядков полиномов знаменателя и числителя. Порядок наращивается до тех пор, пока максимальная ошибка восстановления в области времени не достигнет заданного уровня. Подобный подход достаточно эффективен, однако желательно сократить количество перебираемых вариантов.

В настоящей работе рассматривается метод структурно-параметрической идентификации, основанный на вещественном интерполяционном методе и позволяющий повысить вычислительную эффективность ранее предложенных алгоритмов.

* Получена 27 октября 2010 г.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО МЕТОДА

Известно [3], что изображения сигналов могут быть получены на основе соответствующего вещественного преобразования, основу которого составляет формула прямого преобразования Лапласа

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-pt} dt, \quad (1)$$

где $f(t)$ – функция-оригинал, $F(p)$ – функция-изображение, $p = \delta + j\omega$ – комплексная переменная преобразования. С позиций математического описания и расчета САУ важным является следующее: функции $F(p)$ являются изображениями и потому их применение более предпочтительно по сравнению с функциями времени $f(t)$. Например, операции дифференцирования функции времени $f(t)$ соответствует в области изображений, в случае нулевых начальных условий, операция умножения функции $F(p) = L\{f(t)\}$ на переменную p . Интегрированию в области оригиналов соответствует деление функции-изображения $F(p)$ на переменную p .

Учитывая тот факт, что при составлении численных моделей вещественный интерполяционный метод оперирует в вещественной области, формулу такого преобразования можно получить путем замены в выражении (1) комплексной переменной преобразования p на вещественную δ :

$$F(\delta) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-\delta t} dt. \quad (2)$$

С точки зрения математического описания систем автоматического управления (САУ) важным моментом при получении выражения (2) является отсутствие мнимой составляющей. Условия существования и единственности функции $F(\delta)$ определяются сходимостью интеграла (2). Поэтому на переменную δ накладываются ограничения:

$$F(\delta) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-\delta t} dt, \quad \delta \in [C, \infty), \quad C \geq 0. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой формулу прямого интегрального вещественного преобразования или δ -преобразования.

В приложении к линейным САУ, когда $f(t)$ представляет собой ее временную динамическую характеристику, сходимость обеспечивают выбором соответствующего значения параметра C . Для устойчивой системы с импульсной переходной характеристикой можно принять $C = 0$ [3].

2. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Для получения вещественных функций-изображений $F(\delta)$ по функциям времени $f(t)$ можно использовать способ, который основан на применении формулы (3) прямого δ -преобразования. Этот путь получения математического описания сигналов удобно применять в тех случаях, когда известно представление функции $f(t)$ в аналитическом виде или такое представление можно получить путем интерполяции табличных данных эксперимента.

В общем случае функция $W(\delta)$ может быть получена на основе определения передаточной функции как отношение изображения выходного сигнала $Y(\delta)$ к изображению входного сигнала $X(\delta)$ (при нулевых начальных условиях)

$$W(\delta) = \frac{Y(\delta)}{X(\delta)} = \int_0^{\infty} y(t)e^{-\delta t} dt \Big/ \int_0^{\infty} x(t)e^{-\delta t} dt. \quad (4)$$

При этом соотношение «вход-выход» принимает стандартный вид $Y(\delta) = W(\delta)X(\delta)$. Наиболее подходящим видом аппроксимации функций на бесконечных интервалах изменения аргумента являются дробно-рациональные представления [3] вида

$$W(\delta) = \frac{b_m \delta^m + b_{m-1} \delta^{m-1} + \dots + b_1 \delta + b_0}{a_n \delta^n + a_{n-1} \delta^{n-1} + \dots + a_1 \delta + 1}, \quad n \geq m. \quad (5)$$

Возможность получать вещественные функции на основе выражения (4) создает благоприятные предпосылки для решения ряда практических и исследовательских задач расчета систем автоматического управления, используя вещественный интерполяционный метод. Реализация этих возможностей на основе вычислительной техники требует переходом от аналитических выражений к численным последовательностям с однозначным переходом от одной формы представления к другой.

Для этих целей в рамках вещественного интерполяционного метода предложено осуществлять дискретизацию непрерывных функций $F(\delta)$, производя их последующее восстановление в непрерывной форме с помощью интерполяции. Так, для вещественной функции $F(\delta)$ $\delta \in [0, \infty)$ на системе узлов δ_i , $i = 1, 2, 3, \dots$ строится множество значений $F(\delta_i)$, $i = \overline{1, \eta}$, где η – размерность численной характеристики:

$$\{F(\delta_i)\}_{\eta} = \{F(\delta_1), F(\delta_2), \dots, F(\delta_{\eta})\}. \quad (6)$$

При выборе узлов интерполирования δ_i необходимо определить интервал их расположения и закон распределения. В общем случае эта задача не имеет точного решения, поэтому чаще всего используется равномерный закон распределения узлов. К интервалу $\delta \in [\delta_1, \delta_{\eta}]$ предъявляется требование – охват области наиболее существенных изменений функции $F(\delta)$.

В случае когда для степени полиномов числителя m и знаменателя n функции (5) выполняется неравенство $m \leq n$, для определения узла δ_{η} рассматривают уравнение

$$F(\delta_{\eta}) = (0, 1 \dots 0, 2)[F(0) - F(\infty)] + F(\infty). \quad (7)$$

Решение уравнения (7) ищется численно с привлечением итерационных процедур.

Расположение узлов внутри интервала $[\delta_1, \delta_{\eta}]$ для равномерной сетки определяется следующим образом:

$$\delta_i = \delta_1 + \frac{\delta_{\eta} - \delta_1}{\eta - 1}(i - 1), \quad i = \overline{1, \eta}. \quad (8)$$

Тогда уравнение типа «вход-выход» для расчета САУ с привлечением вещественных изображений, записанное в виде

$$Y(\delta) = W(\delta)X(\delta),$$

можно представить в виде соотношения между элементами численных характеристик $\{X(\delta_i)\}_\eta$, $\{Y(\delta_i)\}_\eta$, $\{W(\delta_i)\}_\eta$ соответственно входного $x(t)$ и выходного $y(t)$ сигналов с передаточной функцией $W(\delta)$:

$$\{Y(\delta_i)\}_\eta = \{W(\delta_i)\}_\eta \{X(\delta_i)\}_\eta.$$

Однозначная связь между моделью в виде ЧХ и вещественной передаточной функцией в форме (5) устанавливается с помощью системы линейных алгебраических уравнений

$$W(\delta_i) = \frac{b_m \delta_i^m + b_{m-1} \delta_i^{m-1} + \dots + b_0}{a_n \delta_i^n + a_{n-1} \delta_i^{n-1} + \dots + a_1 \delta_i + 1}, \quad i = \overline{1, \eta}, \quad (9)$$

решение которой ищется в форме

$$\begin{cases} b_m \delta_1^m + b_{m-1} \delta_1^{m-1} \dots + b_0 - a_n \delta_1^n W(\delta_1) - \dots - a_1 \delta_1 W(\delta_1) = W(\delta_1), \\ b_m \delta_2^m + b_{m-1} \delta_2^{m-1} \dots + b_0 - a_n \delta_2^n W(\delta_2) - \dots - a_1 \delta_2 W(\delta_2) = W(\delta_2), \\ \dots \\ b_m \delta_\eta^m + b_{m-1} \delta_\eta^{m-1} \dots + b_0 - a_n \delta_\eta^n W(\delta_\eta) - \dots - a_1 \delta_\eta W(\delta_\eta) = W(\delta_\eta). \end{cases}$$

В результате решения системы (9) найдутся неизвестные коэффициенты передаточной функции $W(\delta)$, при этом число коэффициентов будет равным параметру η . Для случая представления передаточной функции в форме (5) значение этого параметра составит $\eta = n + m + 1$, что обеспечит единственность решения системы (9). Переход от вещественной передаточной функции $W(\delta)$ к изображению Лапласа осуществляется путем формальной подстановки комплексной переменной преобразования $p \rightarrow \delta$ в выражение передаточной функции.

Основным нерешенным вопросом на данном этапе остается выбор структуры передаточной функции, т.е. определение численных значений n и m в выражении (5).

3. СТРУКТУРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Вопрос о структуре передаточной функции, т.е. о порядке полиномов числителя m и знаменателя n , можно решать методом, предложенным в работе [5]. Воспользуемся уравнением (5) и предельным соотношением

$$\lim_{\delta \rightarrow \infty} \frac{W(\delta)}{W(g \cdot \delta)} = g^{n-m}, \quad (10)$$

где $g > 1$ – вещественное число. Из полученного соотношения (10) находится оценка конструктивных параметров

$$\gamma = \frac{\ln(g^{n-m})}{\ln(g)} = n - m. \quad (11)$$

В результате вычисления по формуле (11) получается вещественное число, содержащее целую и дробную часть. Дробную часть принимаем за единицу и прибавляем к целой части [5].

К сожалению, аналитически взять предел (10) крайне затруднительно, ввиду того что выражения для вычисления $W(\delta)$ и $W(g \cdot \delta)$ определяются в соответствии с формулой (4).

В связи с этим предлагается ограничить интервал существенных изменений функции $W(\delta)$ и рассматривать не предельное соотношение (10), а выражение

$$\frac{W(\delta_\eta)}{W(g \cdot \delta_\eta)} \cong g^{n-m}, \quad (12)$$

где узел δ_η определяется на основе решения уравнения (7) с подстановкой $\delta \rightarrow g \cdot \delta_\eta$, поскольку передаточная функция в знаменателе дроби (12) изменяется в g раз быстрее, чем в числителе. Тогда величина δ_η задаст правую границу интервала $[\delta_1, \delta_\eta]$ распределения узлов интерполирования δ_i , $i = \overline{1, \eta}$. При входном воздействии в виде единичной ступенчатой функции в правой части выражения (7) с учетом предельных соотношений $\lim_{\delta \rightarrow 0} W(\delta) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t)$ и $\lim_{\delta \rightarrow \infty} W(\delta) = \lim_{t \rightarrow 0} h(t)$ можно записать

$$W(g\delta_\eta) = (0, 1 \dots 0, 2)[h(\infty) - h(0)] + h(0), \quad (13)$$

где $h(\infty)$, $h(0)$ – установившееся и начальное значения переходной характеристики $h(t)$ соответственно. Тогда оценка γ найдется в результате решения уравнения (13) и последующих вычислений по выражениям (12) и (11). С учетом полученной оценки конструктивных параметров γ можно сформировать алгоритм восстановления структуры передаточной функции. Для этого выразим порядок числителя m через порядок знаменателя n и оценку γ :

$$m = n - \gamma, \quad n = \begin{cases} \gamma + 1, \gamma + 2, \dots & \text{при } \gamma = 0, \\ \gamma, \gamma + 1, \dots & \text{при } \gamma \neq 0. \end{cases} \quad (14)$$

В последнем уравнении свободным параметром является величина n , наличие фиксированного параметра γ позволяет не рассматривать ряд структур передаточной функции, которые не отвечают требованию уравнения (14). Перебор значений параметра n следует продолжать до тех пор, пока относительная ошибка идентификации в области времени не удовлетворит заданному критерию.

4. ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР

Рассмотрим описанную методику структурно-параметрической идентификации на примере восстановления передаточной функции объекта

$$W_o(p) = \frac{0,04p + 5}{3 \cdot 10^{-3} p^3 + 0,4p^2 + 0,3p + 1}.$$

В результате модельного эксперимента на вход объекта был подан сигнала $x(t) = 1(t)$ (при нулевых начальных условиях). В табл. 1 зафиксирован отклик объекта $y(t_j) = h_o(t_j)$ в моменты времени t_j , где $j = \overline{0, k}$ ($k = 59$) – номер отсчета, взятого на графике переходной характеристики функции $h_o(t)$ (рис. 2).

Таблица 1

j	$t_j, \text{с}$	$h_0(t_j)$	j	$t_j, \text{с}$	$h_0(t_j)$	j	$t_j, \text{с}$	$h_0(t_j)$	j	$t_j, \text{с}$	$h_0(t_j)$
0	0,0000	0,0000	15	2,1890	7,2984	30	4,3780	4,0005	45	6,5669	5,4098
1	0,1459	0,1294	16	2,3349	7,1228	31	4,5239	4,1274	46	6,7129	5,3346
2	0,2919	0,4917	17	2,4808	6,8578	32	4,6698	4,2854	47	6,8588	5,2501
3	0,4378	1,0451	18	2,6268	6,5259	33	4,8158	4,4636	48	7,0047	5,1615
4	0,5837	1,7420	19	2,7727	6,1506	34	4,9617	4,6507	49	7,1507	5,0738
5	0,7297	2,5327	20	2,9186	5,7553	35	5,1076	4,8364	50	7,2966	4,9913
6	0,8756	3,3677	21	3,0646	5,3621	36	5,2536	5,0115	51	7,4425	4,9176
7	1,0215	4,2001	22	3,2105	4,9906	37	5,3995	5,1682	52	7,5885	4,8556
8	1,1675	4,9884	23	3,3564	4,6574	38	5,5454	5,3004	53	7,7344	4,8072
9	1,3134	5,6970	24	3,5024	4,3753	39	5,6914	5,4041	54	7,8803	4,7734
10	1,4593	6,2983	25	3,6483	4,1536	40	5,8373	5,4767	55	8,0263	4,7546
11	1,6053	6,7728	26	3,7942	3,9971	41	5,9832	5,5179	56	8,1722	4,7500
12	1,7512	7,1095	27	3,9402	3,9073	42	6,1292	5,5287	57	8,3181	4,7586
13	1,8971	7,3052	28	4,0861	3,8818	43	6,2751	5,5117	58	8,4641	4,7785
14	2,0431	7,3646	29	4,2320	3,9155	44	6,4210	5,4706	59	8,6100	4,8075

Для получения вещественной передаточной функции $W_0(\delta)$ объекта на основе данных табл. 1 используется выражение (4) с заменой интегралов формулами численного интегрирования по методу трапеций.

$$W_0(\delta) = \frac{\left(\frac{h_0(t_0)e^{-\delta t_0} + h_0(t_k)e^{-\delta t_k}}{2} + \sum_{j=1}^{k-1} h_0(t_j)e^{-\delta t_j} \right) \Delta T_2}{\left(\frac{l(t_0)e^{-\delta t_0} + l(t_k)e^{-\delta t_k}}{2} + \sum_{j=1}^{k-1} l(t_j)e^{-\delta t_j} \right) \Delta T_1},$$

где $\Delta T_1, \Delta T_2$ – период дискретизации входного и выходного сигналов соответственно. В данном примере примем $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T = 0,1459$ с, а также ввиду того что данные эксперимента получены на интервале времени $t \geq 0$, примем, что функции $l(t)$ соответствует постоянное значение $l(t) = 1$. С учетом упрощений последнее выражение можно переписать в виде

$$W_0(\delta) = \frac{\frac{h_0(t_0)e^{-\delta t_0} + h_0(t_k)e^{-\delta t_k}}{2} + \sum_{j=1}^{k-1} h_0(t_j)e^{-\delta t_j}}{\frac{e^{-\delta t_0} + e^{-\delta t_k}}{2} + \sum_{j=1}^{k-1} e^{-\delta t_j}}.$$

Далее определяются границы интервала, внутри которого будут размещаться узлы интерполирования. Поскольку объект устойчивый, то для левой границы можно принять $\delta_1 = 0$. Правую границу определит размещение узла δ_n , значение которого определяется из уравнения (13):

$$W_0(g \cdot \delta_n) = (0,1 \dots 0,2)[h_0(t_k) - h_0(t_0)] + h_0(t_0).$$

В левую часть данного уравнения подставляется выражение вещественной передаточной функции $W_o(\delta)$. В результате получим

$$\frac{h_o(t_0)e^{-g\delta_\eta t_0} + h_o(t_k)e^{-g\delta_\eta t_k} + \sum_{j=1}^{k-1} h_o(t_j)e^{-g\delta_\eta t_j}}{2} = \frac{e^{-g\delta_\eta t_0} + e^{-g\delta_\eta t_k} + \sum_{j=1}^{k-1} e^{-g\delta_\eta t_j}}{2} = (0,1\dots 0,2)[h_o(t_k) - h_o(t_0)] + h_o(t_0).$$

Согласно рекомендации [5] принимаем значение параметра $g = 2$ и получаем решение уравнения $\delta_\eta \in [1,44; 2,2]$ с погрешностью $|\varepsilon| \leq 0,01$. Окончательно узел выбирается из середины найденного интервала $\delta_\eta = (1,44 + 2,2) \cdot 0,5 = 1,82$.

Осуществляется подстановка (12) в (11) и находится конструктивная оценка параметров

$$\gamma = \ln\left(\frac{W_o(\delta_\eta)}{W_o(g \cdot \delta_\eta)}\right) / \ln(g) = \ln\left(\frac{W_o(1,82)}{W_o(2 \cdot 1,82)}\right) / \ln(2) = 1,36.$$

Окончательно, в соответствии с данными ранее рекомендациями, принимается $\gamma = 2$. Тогда в соответствии с (14) запишем

$$m = n - 2, \quad n = 2, 3, \dots$$

Расчеты в полной мере подтверждаются графиками зависимостей оценки конструктивных параметров γ от вещественной переменной δ (рис. 1).

На рис. 1 зависимость $\gamma_1(\delta)$ построена на основании точного аналитического представления передаточной функции объекта $W_o(\delta)$. Зависимость γ_2 вычислена по переходной характеристике объекта $h_o(t)$ на основании формулы прямого вещественного интегрального преобразования с привлечением процедуры численного интегрирования. Из анализа графика следует, что в диапазоне изменения вещественной переменной $\delta \in [0; 25]$ графики функций

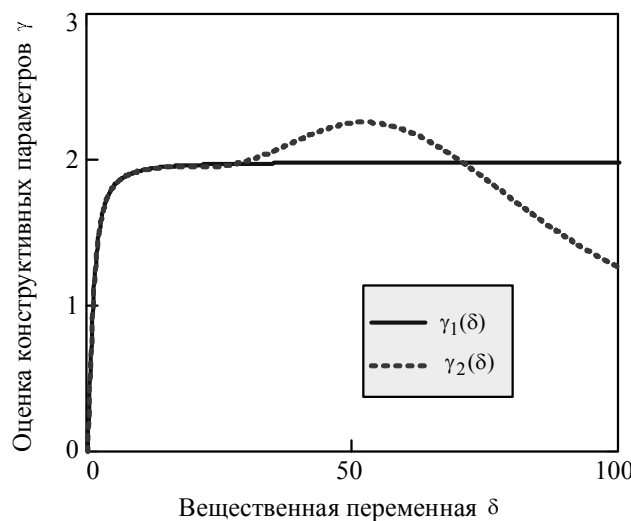


Рис. 1. Зависимость относительного порядка от вещественной переменной

$\gamma_1(\delta)$ и $\gamma_2(\delta)$ практически совпадают. При значениях аргумента $\delta > 25$ график функции $\gamma_2(\delta)$ существенно уклоняется от графика $\gamma_1(\delta)$. Опираясь на этот факт, можно заключить, что для расчетов по формуле (11) можно использовать значения из этого интервала с учетом условия $\delta_{\eta} > 1,2$. Последнее условие введено в рассмотрение в связи с тем, что для решения задачи структурной идентификации важен не сам факт совпадения графиков функций $\gamma_1(\delta)$ и $\gamma_2(\delta)$ на некотором интервале значений аргумента, а соблюдение условия $\gamma_2(\delta_{\eta}) \approx \gamma_1(\infty)$. Однако построение зависимости $\gamma_1(\delta)$ в отсутствие информации о структуре объекта идентификации невозможно, в связи с этим нахождение величины δ_{η} при решении практических задач основано на численном нахождении корней уравнения (13).

В соответствии с выражением (8) формируется система узлов. Далее с учетом оценки конструктивных параметров составляется система уравнений (9), решение которой позволит определить параметры искомой передаточной функции модели $W_M(p)$. В качестве критерия близости идентифицированной передаточной функции $W_M(p)$ и передаточной функции объекта $W_o(p)$ используем оценку в области времени в следующей форме:

$$I = \sum_{j=0}^k \left(\frac{|h_o(t_j) - h_M(t_j)|}{h_o(t_j)} \right),$$

где $h_M(t)$ – переходная характеристика передаточной функции $W_M(p)$.

Решения системы (9) для передаточной функции соответствующей структуры представлены в табл. 2. Для сравнения в эту же таблицу сведены данные по идентификации передаточной функции при выборе конструктивных параметров путем перебора, начиная с модели объекта второго порядка.

Таблица 2

Параметры	Коэффициенты полинома									I
	знаменателя передаточной функции					числителя передаточной функции				
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	b_0	b_1	b_2	b_3	
$n = 2$ $m = 0$ $\gamma = 2$	1	0,22	0,41			4,83				3,26
$n = 2$ $m = 1$ $\gamma = 1$	1	0,23	0,47			4,83	0,23			4,65
$n = 2$ $m = 2$ $\gamma = 0$	1	0,39	0,55			4,83	1,10	-0,20		4,98
$n = 3$ $m = 0$ $\gamma = 3$	1	0,19	0,46	-0,02		4,83				10^9
$n = 3$ $m = 1$ $\gamma = 2$	1	1,92	1,73	4,96		4,83	23,58			1,25

Окончание табл. 2

Параметры	Коэффициенты полинома									I
	знаменателя передаточной функции					числителя передаточной функции				
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	b_0	b_1	b_2	b_3	
$n = 3$ $m = 2$ $\gamma = 1$	1	0,70	0,62	0,13		4,83	2,63	-0,17		3,57
$n = 3$ $m = 3$ $\gamma = 0$	1	-0,51	0,21	-0,48		4,83	-3,26	-1,06	0,15	22,7
$n = 4$ $m = 0$ $\gamma = 4$	1	0,32	0,05	0,32	-0,09	4,83				10^{13}
$n = 4$ $m = 1$ $\gamma = 3$	1	-0,81	-0,03	-0,08	-0,15	4,83	-5,11			167
$n = 4$ $m = 2$ $\gamma = 2$	1	0,58	0,21	1,86	-0,05	4,83	-1,06	6,89		10^{89}

Из анализа данных таблицы можно заключить, что наилучшего приближения удалось достичь при значении критерия близости $I = 1,25$, для передаточной функции с конструктивными параметрами $n = 3$, $m = 1$.

На рис. 2 приведены графики переходных функций модели $h_M(t)$ и объекта $h_O(t)$ для этого случая.

Из сравнения графиков переходных функций модели $h_M(t)$ и объекта $h_O(t)$ следует, что найденная математическая модель адекватно описывает поведение объекта.

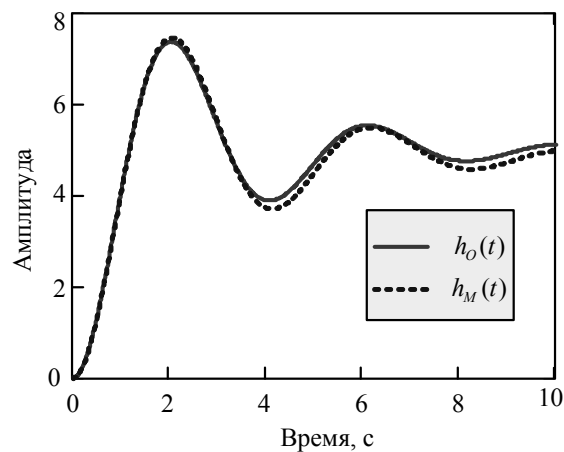


Рис. 2. Переходные характеристики объекта и модели

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены вопросы структурной и параметрической идентификации объектов управления с помощью вещественного интерполяционного метода по временным переходным характеристикам. Предлагаемый подход позволяет существенно снизить количество вычислительных операций при идентификации объекта управления неизвестной структуры. Это достигнуто путем определения зависимости между порядками числителя и знаменателя передаточной функции получаемой модели на основании анализа реакции объекта на тестовый сигнал. Результаты ориентированы на использование в цифровых вычислительных системах управления, поскольку получены на основе итерационных процедур и численных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Семенов А.Д., Артамонов Д.В., Брюхачев А.В. Идентификация объектов управления: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.
- [2] Антропов А.Т., Удод А.С. Идентификация объектов с помощью вещественного интерполяционного метода // Сборник трудов II научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в MATLAB». – М.: ИПУ РАН, 2004. – С. 784–796.
- [3] Гончаров В.И. Вещественный интерполяционный метод синтеза систем автоматического управления. – Томск: ТПУ, 1995. – 108 с.
- [4] Шалаев Ю.Н. Моделирование нестационарных динамических систем методом изображающих векторов // Известия ТПУ. – 2006. – Т. 309. – № 7. – С. 44–47.
- [5] Shalaev Y.N. The Estimation of Parameters of Dynamic system by a Method of Image Vectors // 9th Korean-Russian International Symposium on Science & Technology (KORUS 2005). – Novosibirsk, 2005. – V. 1. – P. 694–695.

Алексеев Александр Сергеевич, аспирант кафедры интегрированных компьютерных систем управления Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основное направление научных исследований – адаптивные системы управления. Имеет 12 публикаций, в том числе 1 учебное пособие. Тел. (3822)70-18-37, E-mail: alekseyev@sibmail.com

Замятин Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматике и компьютерных систем Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основное направление научных исследований – робастные системы автоматического регулирования и управления. Имеет 23 публикации, в том числе 2 учебных пособия. Тел. (3822)41-89-07, E-mail: zamsv@tpu.ru

Суходоев Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматике и компьютерных систем Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основное направление научных исследований – анализ и синтез систем методом корневого годографа. Имеет около 14 публикаций. Тел. (3822)41-89-07, E-mail: smike@tpu.ru

Пушкарев Максим Иванович, аспирант кафедры автоматике и компьютерных систем Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основное направление научных исследований – численные методы анализа систем. Имеет 5 публикаций. Тел. (3822)41-89-07.

A.S. Alekseyev, S.V. Zamyatin, M.S. Suhodoev, M.I. Pushkarev

Obtaining the mathematical description of dynamic objects using the experimental data via real interpolation method.

The paper discusses how to obtain mathematical descriptions of controlled objects via real interpolation method using experimental data in the form of transfer functions. As the experimental data using information on the step-response of the object. It is suggested the methods of determining the structure and parameters of the transfer functions. Give practical recommendations on techniques for calculating these estimations. A numerical example is provided.

Key words: mathematical models, transfer function, the real integral transformation, the real interpolation method.