

УДК 519-7

А. К. Клименко, канд. техн. наук

## О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТНОЙ ОБРАТНОЙ МОДЕЛИ НА ЕЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

*Реальные обратные модели динамических объектов уступают идеальным по своим показателям качества. Это препятствует их применению. Ведутся работы по улучшению показателей качества известной дискретной обратной модели. Формулируются показатели качества и находятся их зависимости от параметров обратной модели. Строится кривая оптимальности обратной модели на плоскости ее параметров. Предлагаемая методика оценки показателей качества облегчает применение обратной модели при решении новых задач.*

**Ключевые слова:** динамический объект, дискретная обратная модель, дискретность времени, конструктивный временной сдвиг, время переходного процесса, временное запаздывание, время нарастания переходного процесса, перерегулирование, адаптивные системы управления, инвариантные следящие системы

А. К. Klymenko, PhD.

## ABOUT DISCRETE INVERSE MODEL PARAMETERS INFLUENCE ON ITS INDICATORS OF QUALITY

*The real inverse models of dynamic objects are inferior to ideal by its quality parameters. This prevents their use. The work is underway to improve the quality of well-known discrete inverse model. The quality indicators and their dependence on parameters of inverse model are formulated. The curve of inverse model optimality on the plane of its parameters is developed. The method of evaluation of indicators of the quality of inverse model which facilitates its use at solving new tasks is proposed.*

**Keywords:** dynamic object, discrete inverse model, discreteness of time, constructive time shift, the transition time, temporary delay, rising time of transition process, overshoot, adaptive control systems, invariant tracking systems

О. К. Клименко, канд. техн. наук

## ПРО ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ДИСКРЕТНОЇ ОБЕРНЕНОЇ МОДЕЛІ НА ЇЇ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ

*Реальні обернені моделі динамічних об'єктів поступають ідеальним за своїми показниками якості. Це перешкоджає їх застосуванню. Ведуться роботи щодо поліпшення показників якості відомої дискретної оберненої моделі. Формулюються показники якості і знаходяться їх залежності від параметрів оберненої моделі. Будується крива оптимальності оберненої моделі на площині її параметрів. Встановлюється, що зменшення дискретності часу поліпшує всі показники якості оберненої моделі, але ускладнює її конструкцію.*

**Ключові слова:** динамічний об'єкт, дискретна обернена модель, дискретність часу, конструктивне часове зрушення, час перехідного процесу, тимчасове запізнювання, час наростання перехідного процесу, перерегулювання, адаптивні системи керування, інваріантні слідуючі системи

**1. Введение.** В решении задач управления и контроля часто возникает проблема создания обратной модели (ОМ) реального динамического объекта (ДО). Примерами систем, нуждающихся в разработке ОМ, могут служить инвариантные системы управления, системы регулирования по самоустанавливающейся программе, адаптивные системы и системы идентификации.

Идеальная ОМ реального динамического объекта, как известно, физически неосуществима. Применение средств дискретной вычислительной техники позволило найти технические решения ОМ для ДО, описываемых уравнениями произвольного порядка. Эти

ОМ являются приближенными. Технические решения дискретных ОМ были получены при разработке адаптивных систем программного управления. Впервые предложение использовать приближенную ОМ в адаптивной системе было сделано в работе [11]. Первое техническое решение дискретной ОМ защищено авторским свидетельством [1]. Теоретическое обоснование его работоспособности и свойств изложены в работе [4], а вопросу устойчивости посвящена работа [7]. В работе [5] предложено техническое решение дискретной ОМ с улучшенными показателями качества, а в [12] изложена методика ее численного конструирования.

© Клименко А.К., 2013

Известно использование улучшенной дискретной ОМ при нахождении технических решений в области адаптивных систем [6, 10], следящих систем [8, 9] и в системе контроля многосвязными ДО [3].

При любом применении ОМ важнейшей задачей является обеспечение желаемых показателей качества ее. Основными конструктивными параметрами создаваемой ОМ, определяющими ее показатели качества, являются, помимо параметров ДО, дискретность времени и конструктивный временной сдвиг. В работе [10] рассматривалось влияние конструктивного временного сдвига на качество создаваемой ОМ. Но не был рассмотрен вопрос влияния дискретности ОМ на ее показатели качества.

В данной работе рассматривается задача определения влияния дискретности времени и конструктивного временного сдвига на показатели качества ОМ при ее создании. Оцениваются также допустимые пределы изменения дискретности времени ОМ.

**2. Анализ известных решений.** Сначала рассмотрим те исходные данные, которые используются при конструировании ОМ, а также при оценке ее показателей качества.

Предполагается, что ДО, для которого требуется создать ОМ, линейный, стационарный, устойчив, а также может обладать чистым временным запаздыванием. В качестве исходного математического описания ДО выступает его переходная характеристика (ПХ)  $h(t)$ , именуемая также и кривой переходного процесса. Переходная характеристика может быть получена как различными аналитическими способами, так и методами электронного моделирования или технического эксперимента. Она представлена в непрерывном времени.

В качестве исходных данных при постановке задачи приведём и краткие сведения о техническом решении ОМ. Она является замкнутой импульсной системой, конструктивными параметрами которой выступают дискретность времени  $T$  и конструктивный временной сдвиг  $T_0$ . Для осуществления ОМ составляется математическое описание скорректированного ДО, который сдвинут относительно исходного в сторону опережения и физически осуществим. Скорректированный

ДО в дискретном времени описывается импульсной переходной функцией (ИПФ), которая является реакцией на входное воздействие в виде кратковременного импульса единичной площади. Числовой массив ИПФ может быть получен из кривой переходного процесса ДО  $h(t)$ :

$$k(n+\tau) = h(t) \Big|_{t=(n+\tau)T} - h(t) \Big|_{t=(n-1+\tau)T},$$

$$n \in [0, N_1], \quad (1)$$

где  $T$  – дискретность (шаг квантования) времени,  $n$  – дискретное время ( $n = \bar{t} / T$ ,  $\bar{t}$  – моменты непрерывного времени, кратные  $T$ ),  $N_1$  – время затухания переходного процесса ( $N_1 = T_1 / T$ ),  $\tau$  – конструктивный временной сдвиг в сторону опережения, переведенный в дискретное время ( $\tau = T_0 / T$ ).

При выполнении данной работы используется ОМ, предложенная в [5]. Она описывается математической зависимостью:

$$c(n) =$$

$$= \left\{ \left( 1 - \frac{h_{-1}}{h_{ust}} \right) x(n) - \sum_{m=1}^{N_1} c(n-m)k(m+\tau) \right\} / k(\tau)$$

$$\tau \geq 1, \quad (2)$$

где  $x(n)$  и  $c(n)$  – соответственно входной и выходной сигналы ОМ:  $h_{-1} = h(t) \Big|_{t=T_0-T}$ ;  $m$  – переменная суммирования;  $k(\cdot)$  – ИПФ ДО;  $k(\tau) = k(n+\tau) \Big|_{n=0}$ ;  $h_{ust}$  – установившееся значение ПХ ДО.

Как показано в [7], ОМ, описываемая выражением (2), обеспечивает устойчивость работы при изменении параметров  $T$  и  $T_0$  в широких пределах. Значения этих параметров в области устойчивости можно выбирать из соображений получения желаемых показателей качества создаваемой ОМ.

Известны [2] показатели качества следящих систем, определяемые по кривой переходного процесса. Они же могут быть применены и относительно ОМ с математическим описанием (2). Для оценки показателей качества ОМ достаточно построить кривую переходного процесса комплекса «ОМ–ДО». Если бы ОМ ДО была идеальной, то ПХ комплекса «ОМ–ДО» представляла бы собой единичную ступенчатую функцию. Реальная же ПХ отличается от идеальной, а эти отличия могут выступать как показатели качества ОМ.

Таковыми показателями являются:

- время переходного процесса  $T_n$ ,
- перерегулирование  $\sigma$ ,
- временное запаздывание  $T_z$ ,
- время нарастания переходного процесса  $T_1$ .

В случае идеальной ОМ каждый из этих показателей должен быть равным нулю. Но это недостижимо, поэтому для улучшения ОМ желательно их минимизировать.

Уменьшение времени переходного процесса повышает быстродействие контура адаптации системы.

Временное запаздывание в ряде случаев не является серьезным недостатком. Если оно известно, то зачастую может быть компенсировано аналогичным временным сдвигом в другом контуре управления.

Исследование влияния величины конструктивного временного сдвига  $T_0$  на показатели качества ОМ в случае использования ее в одном из классов адаптивных систем проведено в работе [7]. Для этого была создана инструментальная схема в виде комплекса из последовательно соединенных ОМ и ДО. Были построены кривые ПХ созданного комплекса «ОМ–ДО» при одном значении дискретности времени и различных значениях конструктивного временного сдвига. Примеры таких графиков показаны на рис. 1, где символом  $\tau$  обозначен конструктивный временной сдвиг в дискретном времени. На рис. 2 показаны графики зависимостей показателей качества ОМ  $T_n$ ,  $T_z$  и  $\sigma$  от величины конструктивного временного сдвига  $\tau$ , получаемых на основании анализа приведенных на рис. 2 кривых. Зависимости показателей качества от величины  $\tau$  отличаются друг от друга, причем улучшение одного из показателей может сопровождаться ухудшением другого.

Из указанных рисунков следует, что при заданной дискретности времени можно путем изменения конструктивного временного сдвига получить либо доступное значение одного из показателей качества, либо желаемую совокупность показателей. Возникает необходимость найти способ получения желаемых показателей качества создаваемой ОМ путем изменения ее параметров.

**3. Исходные данные.** Исследование влияния параметров ОМ на ее показатели

качества проводится численным методом на примере ДО с постоянными динамическими параметрами. Исходным математическим описанием ДО выступает его ПХ в непрерывном времени  $h(t)$  с указанием времени переходного процесса  $T_1$ .

Предполагается, что для заданного ДО возможно построение кривых переходного процесса комплекса «ОМ–ДО», аналогичных изображенным на рис. 1. Они соответствуют одному значению дискретности времени  $T$  и семейству значений конструктивного временного сдвига  $\tau$ .

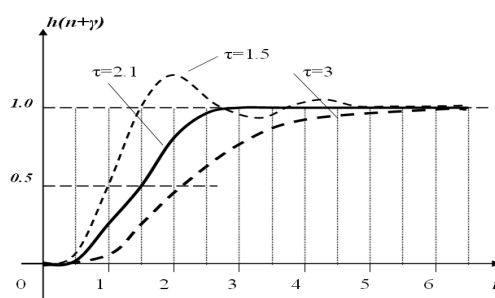


Рис. 1. Примеры кривых переходного процесса при различных  $\tau$

На основании анализа полученных кривых могут быть построены графики зависимостей показателей качества ОМ от конструктивного временного сдвига. Эти графики изображены на рис. 2. Символом  $\tau$  обозначен конструктивный временной сдвиг в дискретном времени ( $\tau = T_0 / T$ ), а символом  $\tau^*$  – значение этого сдвига, при котором время переходного процесса комплекса «ОМ–ДО» является минимальным.

Методика построения кривых, изображенных на рисунках 1 и 2, изложена в работе [7].

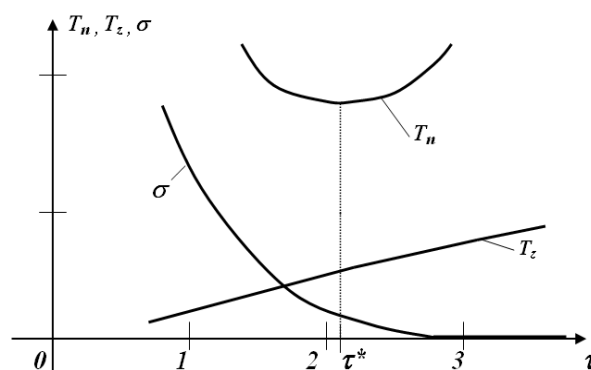


Рис. 2. Зависимости показателей качества ОМ от параметра  $\tau$

Приведенные выше сведения о динамических параметрах ДО и методике построения показанных кривых являются исходными данными при решении задач данной работы.

#### 4. Результаты исследования

Первой из рассматриваемых в данной работе задач является определение допустимых пределов изменения дискретности времени ОМ.

На выбор дискретности влияют следующие обстоятельства. Предполагается, что выходная информация, которая квантована по времени, поступает на вход аналогового объекта. Частота квантования обратно пропорциональна дискретности. Для уменьшения ошибок в аналоговом объекте, порождаемых квантованием по времени входного сигнала, необходимо обеспечить достаточно высокую частоту квантования, что достигается уменьшением дискретности ОМ.

При конструировании ОМ математическое описание ДО переводится с непрерывного времени в дискретное. При этом ИПФ ДО определяется выражением (1) и представляет собой числовой массив

$$k(n+\tau), n \in [0, N_1].$$

Объем массива  $N_1$  определяется отношением времени переходного процесса ДО к выбранной дискретности времени:

$$N_1 = T_1 / T, \quad (3)$$

где  $T_1$  – время переходного процесса ДО;  $T$  – дискретность времени.

Для обеспечения желаемой точности при работе дискретной ОМ с аналоговыми устройствами требуется достаточно большой массив ИПФ ДО  $N_1$ . Указанное условие обычно удовлетворяется, когда выбранная дискретность времени не превышает нескольких процентов или долей процента от времени переходного процесса ДО.

А теперь рассмотрим возможное ограничение на минимальное значение дискретности времени ОМ. Уменьшение дискретности порождает усложнение устройства ОМ из-за необходимости увеличения объема используемой памяти и повышения скорости вычислительных операций.

Это можно пояснить следующим образом.

Обратная модель работает по формуле (2). При этом требуется блок памяти, объем которого, согласно (3), обратно пропорционален дискретности времени. Для получения значения выходного сигнала в каждом такте времени требуется выполнить  $N_1$  вычислительных операций. При работе ОМ на интервале, равном времени переходного процесса ДО, количество тактов дискретного времени также равно, согласно (3), величине  $N_1$ . Поэтому количество вычислительных операций ОМ на этом интервале

$$N_E = N_1 \cdot N_1 = N_1^2.$$

Скорость выполнения вычислительных операций в ОМ определяется отношением количества операций к промежутку времени, на котором они выполняются:

$$V_N(T) = N_E / T_1 = N_1^2 / T_1 = T_1 / T^2. \quad (4)$$

Символом  $V_N(T)$  обозначена скорость выполнения вычислительных операций ОМ. Она обратно пропорциональна квадрату дискретности времени и резко увеличивается при уменьшении дискретности.

Таким образом, при выборе дискретности создаваемой ОМ необходимо учитывать существенное влияние ее на сложность конструкции и объем вычислительных операций. А теперь рассмотрим влияние дискретности времени на показатели качества создаваемой ОМ.

Для проведения исследований расчетным путем создается инструментальная схема из последовательно соединенных ОМ и ДО, в которой можно изменять задаваемые конструктивные параметры  $T$  и  $T_0$ . Схема приведена на рис. 3. На вход комплекса «ОМ-ДО» подается единичная ступенчатая функция, а с выхода снимается кривая переходного процесса (ПХ). По ПХ определяются показатели качества ОМ.

Символами на схеме обозначены:  $x(n)$  и  $c(n)$  – входной и выходной сигналы ОМ,  $u(n)$  – выходной сигнал ДО,  $T$  – дискретность времени ОМ,  $T_0$  – конструктивный временной сдвиг,  $h(t)$  – ПХ ДО,  $T_1$  – время переходного процесса ДО.

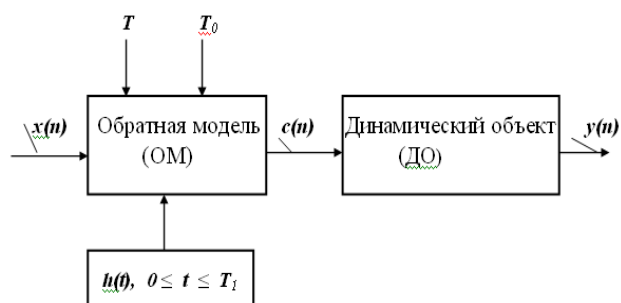


Рис. 3. Инструментальная схема для исследования ОМ

В постоянной памяти ОМ хранится математическое выражение ПХ ДО  $h(t)$  на интервале времени переходного процесса  $T_1$ . В ОМ имеется подпрограмма для формирования массива ИПФ ДО по формуле (1) в соответствии с вводимыми значениями дискретности времени  $T$  и конструктивного временного сдвига  $T_0$ . В инструментальной схеме по рис.3 может быть использован непосредственно ДО или его модель.

Одной из подзадач исследования влияния параметров ОМ на ее показатели качества является построение кривой зависимости оптимального значения конструктивного временного сдвига  $T_0^*$  от величины дискретности времени.

Методика решения этой подзадачи состоит в следующем. Выбирается желаемый показатель качества создаваемой ОМ (например, минимум времени переходного процесса при заданном значении перерегулирования). На ОМ в схеме по рис. 3 подаются параметры ДО. Задается числовое значение дискретности времени  $T$ . Затем подаются различные значения параметра  $T_0$ , для каждого из которых строится кривая ПХ комплекса «ОМ–ДО». Получается семейство кривых, аналогичных изображенному на рис.1. На основании анализа кривых строятся зависимости показателей качества от конструктивного временного сдвига, как это изображено на рис. 2. Находится оптимальное значение последнего, которое на рисунке обозначено в дискретном времени символом  $\tau^*$ . Далее это значение будем также представлять в непрерывном времени и обозначать символом  $T_0^* = \tau^* T$ .

Затем в инструментальной схеме по рис. 3 поочередно устанавливаются новые значения дискретности времени и для каждого из них находится величина оптимального конструктивного временного сдвига  $T_0^*$ .

Строится кривая зависимости получаемых значений  $T_0^*$  от дискретности времени  $T$ . Пример такой кривой показан на рис. 4.

Моделирование показало, что при любом выборе дискретности создаваемой ОМ найдется оптимальное значение конструктивного временного сдвига  $T_0^*$  в отношении заданного показателя качества. Из полученного графика видно, что с повышением дискретности времени почти пропорционально увеличивается и оптимальное значение конструктивного временного сдвига.

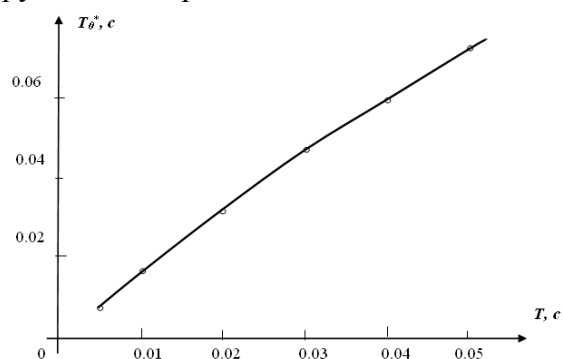


Рис. 4. График зависимости оптимального значения параметра  $T_0^*$  от дискретности  $T$

Рассмотрим, как изменяются показатели качества создаваемой ОМ от изменения дискретности времени. Предполагается, что конструктивный временной сдвиг для заданной дискретности времени уже определен и является оптимальным. Для этого можно воспользоваться графиком, показанным на рис. 4.

Работа выполняется следующим образом. Берется изображенная на рис. 3 инструментальная схема. Задаются дискретность времени и соответствующее ей, согласно кривой по рис. 4, значение оптимального параметра  $T_0^*$ . Строится кривая переходного процесса комплекса «ОМ–ДО». По ней определяются и регистрируются показатели качества (время переходного процесса  $T_1$ , временное запаздывание

$T_z$  и время нарастания переходного процесса  $T_n$ ).

Затем, аналогичным образом, задаются новые значения параметров  $T$  и  $T_0^*$ , соответствующие кривой на рис. 4, строятся кривые переходного процесса, определяются и регистрируются показатели качества.

Изложенная методика исследования создаваемой ОМ на предмет влияния выбираемой дискретности времени на получаемые показатели качества может быть продемонстрирована на следующем примере. Предполагается, что ДО, для которого создается ОМ, описывается передаточной функцией

$$W(s) = \frac{20 \cdot s + 500}{0.00004 \cdot s^4 + 0.0094 \cdot s^3 + 0.75 \cdot s^2 + 26 \cdot s + 500},$$

а его ПХ имеет вид:

$$h(t) = 1 - 7,5 \cdot e^{-100t} + 8,58 \cdot e^{-93t} - e^{-21t} \cdot [2,08 \cdot \cos(30 \cdot t) - 0,145 \cdot \sin(30 \cdot t)]. \quad (5)$$

Задаются значения дискретности времени  $T$  от 0,005 до 0,05 с. Задается также и значение перерегулирования  $\sigma$  порядка одного процента как желаемый показатель качества. По величине  $\sigma$  определяется оптимальное значение конструктивного временного сдвига  $T_0^*$ . Для каждой пары значений параметров  $T$  и  $T_0^*$  строятся кривые переходных процессов комплекса «ОМ–ДО», по которым определяются показатели качества ОМ. Полученные результаты эксперимента отображены в таблице.

В ней указаны параметры ОМ и ее показатели качества. В одной из колонок показателей качества приведены численные значения скорости вычислительных операций в ОМ, найденные по формуле (4).

Для наглядности приведенных в таблице результатов, на рис. 5 показаны графики зависимостей показателей качества от величины дискретности времени. График скорости вычислительных операций  $V_N(T)$  изображен пунктирной линией.

Пример, подтверждаемый приведенными в таблице и на рисунке результатами, дает основания для следующего утверждения. Показатели качества ОМ, конструируемой с оптимизацией конструктивного временного сдвига, неуклонно улучшаются с уменьшением дискретности времени.

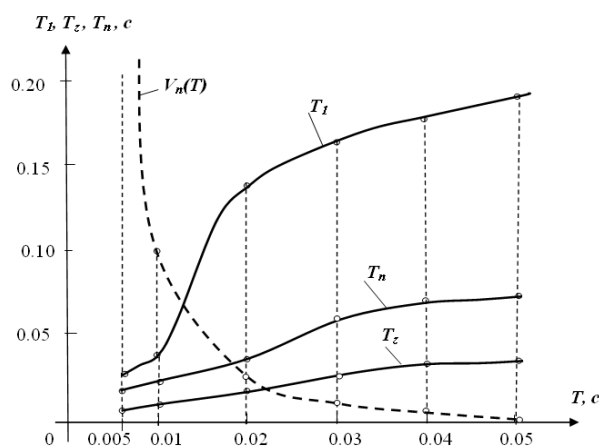


Рис. 5. Примеры зависимости показателей качества ОМ от дискретности времени  $T$

#### Примеры показателей качества ОМ в зависимости от дискретности времени

Параметры ОМ		Показатели качества ОМ				
$T, c$	$T_0, c$	$\sigma, \%$	$T_z, c$	$T_n, c$	$T_1, c$	$V_N(T), c^{-1}$
0,05	0,073	0,86	0,036	0,075	0,188	$0,2 \cdot 10^3$
0,04	0,06	1,1	0,033	0,07	0,18	$0,325 \cdot 10^3$
0,03	0,047	1,1	0,029	0,056	0,165	$0,55 \cdot 10^3$
0,02	0,0335	1,17	0,022	0,04	0,135	$1,25 \cdot 10^3$
0,01	0,0185	1,22	0,013	0,025	0,060	$5 \cdot 10^3$
0,005	0,009	1,02	0,008	0,0163	0,026	$20 \cdot 10^3$

Но за получаемое улучшение приходится платить усложнением конструкции ОМ из-за необходимости резкого увеличения скорости вычислительных операций.

На рис. 6 приведен пример влияния двух значений дискретности времени ОМ на временные характеристики комплекса «ОМ–ДО». Динамический объект описывается переходной характеристикой (5), которая изображена на рисунке и обозначена символом  $h_{do}(t)$ . Пример показывает, что при меньшем значении дискретности времени кривая переходного процесса комплекса находится ближе к единичной ступенчатой функции.

Это свидетельствует о существенном улучшении показателей качества ОМ в части времени переходного процесса, временного запаздывания и времени нарастания переходного процесса.

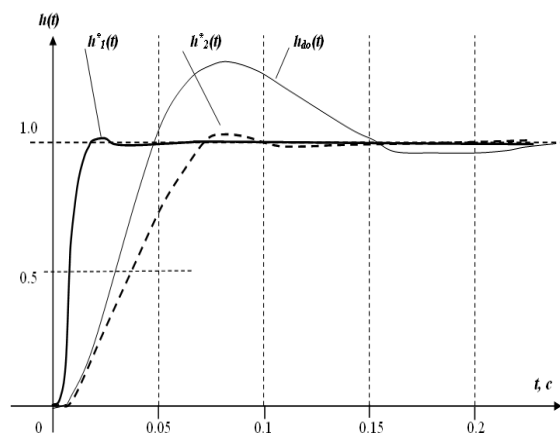


Рис. 6. Переходные характеристики ДО ( $h(t)$ ) и комплекса «ОМ–ДО» для двух дискретностей времени ( $h^*_1(t)$  – при  $T=0,005$  с,  $h^*_2(t)$  – при  $T=0,05$  с)

### Заключение

Получена методика определения показателей качества ОМ, если выбраны ее параметры, а математическое описание ДО известно. Это облегчает задачу применения ОМ при автоматизации новых технологических процессов.

### Список использованной литературы

1. А. с. СССР 1406563, МКИ G 05 В 5/01. Корректирующее устройство / А. К. Клименко, В. Г. Клименко (СССР). – № 4041877/24–24; заявл. 25.03.86; опублик. 30.06.88. Бюл. № 24.

2. Бесекаерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования. Изд.3-е, исп. / В. А. Бесекаерский, Е. П. Попов. – М. : Наука, 1975. – С. 209–210.

3. Клименко, А. К. Обратная модель для контроля качества многосвязных динамических объектов / А. К. Клименко // Методы менеджмента качества – 2000. – № 5. – С. 36 – 40.

4. Клименко, А. К. Обратная модель для решения задач управления и контроля качества / А. К. Клименко // Методы менеджмента качества. Надежность и контроль качества. – 1999. – № 8. – С. 32–39.

5. Клименко, А. К. Обратная модель с улучшенными показателями качества / А. К. Клименко // Труды международного симпозиума “Надежность и качество 2003” под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та.– 2003. – С.237–239.

6. Клименко, А. К. Об оптимизации коэффициента усиления в адаптивной системе с обратной моделью / А. К. Клименко // Автоматика. Автоматизация. Автоматизированные комплексы и системы. – 2006, № 2. – С.125–131.

7. Клименко, А. К. О влиянии конструктивных параметров обратной модели на ее устойчивость / А. К. Клименко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы (ААЭКС). – 2005.– № 2. – С. 52 – 57.

8. Клименко, А. К. О возможности использования дискретной обратной модели в задаче управления движением подводного трубопровода» / А. К. Клименко // Елекромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематич. вип. «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» наукововиробничого журналу – Кременчук : КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012. – С. 363 – 365.

9. Клименко, А. К. О возможности использования дискретной обратной модели в следящих системах / А. К. Клименко // Тематич. вип. «Проблеми автоматизованого ел.привода. Теорія й практика» науковотехніч. журналу «ЕЛЕКТРОІНФОРМ». – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С.97 – 98.

10. Клименко, А. К. О получении желаемых показателей качества в адаптивной системе с обратной моделью / А. К. Клименко //

Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы (ААЭКС). – 2009. – № 1. – С. 157 – 165.

11. Клименко, А. К. О сходимости процессов адаптации в цифровых системах программного управления станками / А. К. Клименко // Адаптивные системы управления металлорежущими станками: под ред. А. Е. Кобринского, Сер. С-1. – М. : НИИМАШ. – 1971. – С. 58 – 67.

12. Клименко, А. К. О численном конструировании обратных моделей линейных динамических объектов / А. К. Клименко, А. А. Тарасов // Вопросы устойчивости и безопасности систем. – М. : ВЦ РАН. – 2007. – Вып. 9. – С. 81 – 84.

Получено 28.01.2013

#### References

1. A. a. 1406563 USSR, MKI G 05 B 5/01. Correction unit / A. K. Klymenko, V. G. Klymenko (USSR). – № 4041877/24-24; appl. 25.03.86, publ. 30.06.88. Bull. Number 24 [in Russian].

2. Besekersky, V. A. Theory of systems of automatic control. - The third review / V. A. Besekersky, E. P. Popov – Moscow : Science, 1975. - P. 209 – 210 [in Russian].

3. Klymenko, A. K. Inverse model for quality control of dynamic multiply linked objects / A. K. Klymenko // Methods of quality management. – 2000. – № 5. - P. 36 – 40 [in Russian].

4. Klymenko, A. K. Inverse model for solving the problems of management and quality assurance / A. K. Klymenko // Methods of quality management. Reliability and quality control. – 1999. – № 8. – P. 32 – 39 [in Russian].

5. Klymenko, A. K. Inverse model with improved parameters of quality / A. K. Klymenko // Proceedings of the International Symposium "The reliability and quality 2003", with ed. N. K. Yurkova. – Penza : Information and Publishing Centre of Penza State University, 2003. - P.237 – 239 [in Russian].

6. Klymenko, A. K. On the optimization of the coefficient of amplification in an adaptive system with feedback model / A. K. Klymenko // Automatik. Automation. Automated complexes and systems. – 2006. – № 2. – P.125 – 131 [in Russian].

7. Klymenko, A. K. About influence of design parameters of inverse model on its stability / A. K. Klymenko // Automatics. Automation. Electrotechnical complexes and systems (AAECS). – 2005. – № 2. – P. 52 – 57 [in Russian].

8. Klymenko, A. K. About the possibility of using the inverse discrete model in the problem of controlling movement of submarine pipeline / A. K. Klymenko // Electromechanical and energy-saving systems. Thematic issue "Problems of automatic electrodevice. Theory and practice" of research and production magazine– Kremenchug : KrNU. – 2012. – Iss.3/2012. – P. 363 – 365 [in Russian].

9. Klymenko, A. K. The possibility of using the inverse discrete model in the tracking systems / A. K. Klymenko // Thematic issue «Problems of automatic electrodevice. Theory and practice" of research and production magazine "ELEKTROINFORM" – Lviv : EKOinform, – 2009. – P. 97 – 98 [in Russian].

10. Klymenko, A. K. About deriving of desirable indicators of quality in adaptive system with inverse model / A. K. Klymenko // Automatics. Automation. Electrotechnical complexes and systems (AAECS). – 2009, №1. - P. 157 – 165 [in Russian].

11. Klymenko, A. K. The convergence of processes of adaptation in digital systems software machine control / A. K. Klymenko // Adaptive control machine tools, ed. A.E.Kobriniski, Ser. C-1. – Moscow : NIIMASH, 1971. – P.58 – 67 [in Russian].

12. Klymenko, A. K. About numerical construction of inverse linear models of dynamic objects / A. K. Klymenko, A. A. Tarasov // Questions of sustainability and security systems. – Moscow : Computing Centre of RAN. – 2007. - No. 9. - P. 81 – 84 [in Russian].



Клименко  
Александр Константинович, к.т.н., доц. Бердянского госпедунта,  
м/т: +38-099-304-73-79,  
e-mail: aklym@ukr.net