УДК 621.396

Ткаченко О.Н., к.т.н.**; Дыщук А.С.; Перепелица Н.Л.;**
Черныш Е.М.; Демченко С.А.

АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Tkachenko O.N., Dyshchuk A.S., Perepelitca N.L., Chernysh K.M., Demchenko S.O. Algorithms of identification of static objects.

Identification of model is the process of determination of parameters in the mode of normal exploitation of object. A model structure is known (it is certain on the stage of structural synthesis), there is an algorithm (rule, instruction) by means of that it is possible to define the state of model, if the states of entrances, and also parameters, are set. Exactly these parameters are determined on the stage of identification. The choice of the simplified model is reasonable for research. Basic data that is used in the process of identification are analyzed. Basic data it comfortably to subdivide into two classes: apriority is contained in the structure of model, it means that must be set (or certain on the stage of structural synthesis) for example, type of equalization, columns of intercommunication of elements of model and so on; aposteriori are supervisions of the states of entrance and exit of object in the process of normal exploitation.

The adaptive and non-adaptive algorithms of identification are considered, their advantages, defects, terms of application. The adaptive algorithm of identification is an algorithm allowing to specify the values of the identified parameters of model as far as the receipt of additional information about work of object. If the adaptive method of identification will be realized real-time, then it is expedient to name the method of self-tuning model. The scheme of method of self-tuning model is presented. A non-adaptive algorithm of identification allows to get the parameters at once, using all information, but not by their gradual clarification.

The model of static object is investigational. The task of identification of the static systems is taken to the task of minimization of some special function of many variables.

Keywords: identification, model, parameters, static object, adaptive, non-adaptive algorithm, optimization, minimization

Ткаченко О.М., Дищук А.С., Перепелиця Н.Л., Черниш К.М., Демченко С.О. Алгоритми ідентифікації статичних об’єктів.

Обґрунтовано вибір спрощеної моделі для дослідження. Проаналізовано початкові дані, які використовуються в процесі ідентифікації. Розглянуто адаптивний і неадаптивний алгоритми ідентифікації, їх переваги, недоліки, умови застосування. Представлено схему методу самоналагоджувальної моделі. Досліджена модель статичного об'єкту. Задачу ідентифікації статичних систем зведено до задачі мінімізації деякої спеціально побудованої функції багатьох змінних.

Ключові слова: ідентифікація, модель, параметри, статичний об'єкт, адаптивний, неадаптивний алгоритм, оптимізація, мінімізація

Ткаченко О.Н., Дыщук А.С., Перепелица Н.Л., Черныш Е.М., Демченко С.А. Алгоритмы идентификации статических объектов.

Обосновано выбор упрощенной модели для исследования. Проанализировано исходные данные, которые используются в процессе идентификации. Рассмотрены адаптивный и неадаптивный алгоритмы идентификации, их преимущества, недостатки, условия применения. Представлена схема метода самонастраивающейся модели. Исследована модель статического объекта. Задача идентификации статических систем сведена к задаче минимизации некоторой специально построенной функции многих переменных.

Ключевые слова: идентификация, модель, параметры, статический объект, адаптивный, неадаптивный алгоритм, оптимизация, минимизация

Введение

Постановка задачи. Под идентификацией модели подразумеваем процесс определения ее параметров

$$C = (c_1, ..., c_k) \tag{1}$$

в режиме нормальной эксплуатации объекта. Структура модели при этом известна (она определена на стадии структурного синтеза):

$$Y = F(X, U, C) \quad (2)$$

т. е. оператор F предполагается заданным. Это означает, что задан алгоритм (правило, инструкция), с помощью которого можно определить состояние Y модели, если заданы состояния X и Y ее входов, а также параметры (1). Именно эти параметры определяются на этапе идентификации.

Анализ литературных данных. В последние годы разработчикам все чаще приходится решать задачи проектирования систем управления объектами достаточно сложной природы. Результаты исследования идентификации как процесса определения параметров модели по наблюдениям, полученным в режиме нормального функционирования объекта, представлены во многих работах. Объекты, для которых возникла задача разработки новых концепций построения систем управления, принято называть "большими системами". К сожалению, не существует четкого определения больших систем. Достаточно часто в литературе [1-4] можно встретить лишь те характерные особенности, которые не позволяют при управлении такими системами и, в частности, при создании моделей таких систем придерживаться традиционных методов, которые развиваются в теории идентификации.

В работе [5] достаточно детально рассмотрены особенности идентификации параметров модели сложного объекта. Сформулировано одно из видений понятия "сложный объект".

Работа [6] посвящена одному из этапов процесса моделирования - оптимизации параметров систем управления телекоммуникационными сетями. Проанализировано и выполнено сравнение методов возведения векторного синтеза к скалярному.

В работах [7, 8] рассмотрен вопрос управления распределением информации на сетях связи. Проанализированы возможности динамического распределения потоков информации.

В работах [9, 10] показаны достаточно новые подходы к построению систем управления телекоммуникационными сетями, в том числе с учетом все растущей заинтересованности к их интеллектуальности.

Нерешенные вопросы. На основе анализа литературных источников можно сделать ***следующие выводы***. Идентификация сложных объектов является достаточно важной задачей современной теории управления, и поэтому ей уделяется большое внимание. Адаптивная идентификация является в большинстве случаев наиболее эффективным подходом к решению задач идентификации.

Цель и задачи исследования. Целью работы являлось исследование алгоритмов идентификации статических объектов.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- выбор и обоснование структуры модели и исходных данных для идентификации;
- сравнение адаптивного и неадаптивного алгоритмов идентификации;
- исследование модели статического объекта.

1. Анализ задачи идентификации

Для идентификации необходимо иметь информацию об изменении входов и выходов объекта. Но объект пока не управляется (мы только создаем систему управления), поэтому влияние входа U на выход Y не может быть исследовано на этапе идентификации. Это несколько упрощает задачу, так как вместо модели (2) следует брать модель вида

$$Y = F`(X, C), \quad (3)$$

в которой не фигурирует управляемый вход U.

В процессе идентификации используются исходные данные, которые удобно подразделить на два класса:

— априорные, которые содержатся в структуре S^t модели. Это означает, что должен быть задан (или определен на этапе структурного синтеза) вид оператора $F`$. Например, вид уравнения, граф взаимосвязи элементов модели и т. д.;

— апостериорные, которые представляют собой наблюдения состояний входа *X* и выхода *Y* объекта в процессе его нормальной эксплуатации, т. е. информацию

$$I = (X_i, Y_i), i = 1, ..., N\,, \tag{4}$$

где *i* - номер моментов времени t_i, когда фиксировались значения *X* и *Y*, т. е. $X_i = X(t_i), Y_i = Y(t_i)$, где $X(t)$ и $Y(t)$ - функции, описывающие поведение входа и выхода объекта в процессе его нормального функционирования в среде. Моменты времени t_i обычно равномерно покрывают промежуток времени наблюдения [0, *T*], т. е.

$$t_i = \tau(i-1),$$

где τ - интервал между наблюдениями (4), т. е. $\tau = T/(N-1)$.

Таким образом, исходные данные, необходимые для идентификации, образуются двойкой

$$\langle St, I \rangle \tag{5}$$

т. е. структурой модели (3) и наблюдениями (4). Процесс идентификации параметров модели сводится к определению параметров (1) по исходным данным (4), т. е.

$$C = \varphi(St, I) \tag{6}$$

где φ - алгоритм идентификации, определяющий, каким образом можно найти параметры *C*, зная *St* и *I*.

Рассмотрим различные алгоритмы φ. Эти алгоритмы можно подразделить на два больших класса: адаптивные и неадаптивные.

Под адаптивным алгоритмом идентификации будем понимать алгоритм, позволяющий уточнять значения идентифицируемых параметров модели по мере получения дополнительной информации о работе объекта. Пусть на *i*-м шаге адаптивной идентификации были какие-то определенные значения идентифицируемых параметров. Отметим их индексом *i;*

$$C_i = (c_1^i, ..., c_k^i).$$

Пусть, далее, получена дополнительная информация, т. е. пара наблюдений входа и выхода объекта в $(i+1)$-й момент времени:

$$I_{i+1} = \langle X_{i+1}, Y_{i+1} \rangle. \tag{7}$$

Очевидно, что эта информация должна каким-то образом изменить (откорректировать) имеющиеся значения *C* и дать возможность получить C_{i+1} - более точное значение параметров. Связь между C_i и C_{i+1} определяется адаптивным алгоритмом идентификации:

$$(C_i, I_{i+1}) \xrightarrow{\tilde{\varphi}_a} C_{i+1}$$

или в обычной рекуррентной форме

$$C_{i+1} = \tilde{\varphi}_a(C_i, I_{i+1}) \tag{8}$$

Здесь $\tilde{\varphi}_a$ - алгоритм адаптивной идентификации, который позволяет определить последующее значение параметров, исходя из новой информации (I_{i+1}) и старых представлений о значениях параметров C_i. Адаптация, таким образом, представляет собой способ получения «нового знания» путем коррекции «старого знания» на основе новой информации.

Алгоритм (8) удобнее записать в виде

$$C_{i+1} = C_i + \varphi_a(F(X_{i+1}, C_i), I_{i+1}) \tag{9}$$

где φ_a - оператор адаптивной идентификации.

Если адаптивный метод идентификации реализуется в реальном масштабе времени, то его целесообразно называть методом самонастраивающейся модели. Схема этого метода показана на рис. 1. Здесь на вход модели подается вход *X* объекта. Информация о состоянии объекта *Y*, модели *F(X, C)* и среды *X* сообщается блоку адаптации, который вырабатывает сигнал коррекции $\Delta C = \varphi_a(F(X,C),I)$, изменяющий параметры модели в соответствии с (9) с помощью исполнительного механизма.

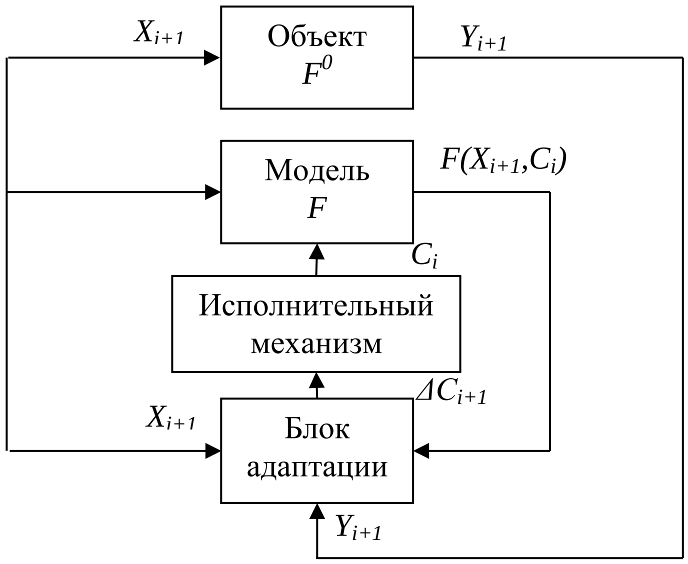

Рис. 1. Схема адаптивной идентификации

Очевидно, что для реализации адаптивных алгоритмов идентификации вовсе не обязательно использовать реальный масштаб времени. В этом случае роль объекта играет информация *I* (4), которая поступает в алгоритм адаптивной идентификации из памяти порциями $X_i, Y_i \rangle (i = 1,..., N)$.

В противоположность адаптивному алгоритму идентификации неадаптивный позволяет получить искомые параметры *C* сразу, используя всю информацию *I* (4), а не путем их постепенного уточнения. Если информация *I* задана, то задачу идентификации можно решать как адаптивным, так и неадаптивным способом. На первый взгляд может показаться, что неадаптивный алгоритм всегда лучше адаптивного, но каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Неадаптивный алгоритм позволяет сразу определить идентифицируемые параметры *C*, но он сложнее и для его реализации требуются значительные вычислительные мощности.

Адаптивный алгоритм проще: его легко программировать и отлаживать. Кроме того, он может быть эффективно реализован в специализированных вычислительных устройствах. Применяют его обычно для идентификации объектов с изменяющимися свойствами с дрейфующими параметрами в режиме самонастраивающейся модели. Однако его можно применять и для идентификации объекта по всей информации *I*. В этом случае для эффективной идентификации параметров *C*, как правило, требуется многократная «прогонка» информации *I* через адаптивный алгоритм.

2. Идентификация статических объектов

Рассмотрим модель статического объекта (3). Эта функция может быть задана как аналитически, так и алгоритмически, т. е. в виде инструкций, показывающих, как ее вычислять при всех встречающихся значениях аргументов *X* и *C*.

Выход объекта будем считать одномерным *(m*=1), т. е. *Y*=*y*. Это дает возможность записать модель (3) в виде

$$y = f(X, C) \tag{10}$$

где f - заданная на этапе структурного синтеза скалярная функция.

Правомерность такого подхода следует из очевидной декомпозиции задачи (3), где

$$Y = (y_1, ..., y_m), F` = (f_1, ..., f_m) ,$$

на m задач вида (10), т. е. декомпозировать модель. Это означает, что умение идентифицировать параметры модели (10) с одним выходом позволяет идентифицировать и много-выходовые модели путем m-кратного повторения идентификации модели (10).

Исходные данные (4) в этом случае принимают вид

$$I = \langle X_i, \mathrm{y}_i \rangle, i = 1, ..., N \ , \tag{11}$$

где y_i — реакция объекта в i-й момент времени на вход:

$$X_i = (x_1^i, ..., x_n^i), y_i = y(t_i), x_j^i = x_j(t_i)$$

3. Неадаптивный алгоритм идентификации

Для определения параметров C неадаптивным методом подставим данные (11) в (10). В результате получим систему из N уравнений с k неизвестными:

$$f(X_1, c_1, ..., c_k) = y_1$$

$$...............................$$

$$f(X_N, c_1, ..., c_k) = y_N$$

которую удобно записать в виде

$$f(X_i, C) = y_i, i = 1, ..., N \tag{12}$$

Очевидно, что при этом необходимо выполнение условия $N \geq k$. В противном случае число неизвестных окажется меньше числа уравнений и система (12) не будет иметь однозначного решения.

Как видно, задача неадаптивной идентификации статического объекта сводится к решению системы уравнений (12). Эта система имеет два существенных свойства, которые и определяют трудности, возникающие при ее решении: несовместность и трансцендентность. Ее несовместность связана со случаем $N>k$ (уравнений больше, чем неизвестных), а трансцендентность — с произвольным видом функции f. Очевидно, что все трудности неадаптивного метода решения задачи идентификации связаны с указанными трудностями, которые приходится преодолевать при решении несовместной трансцендентной системы уравнений.

Начнем с несовместности ($N>k$). Несовместную систему уравнений (12) решим так называемым методом наименьших квадратов, т. е. минимизируя суммарную невязку правых и левых частей уравнений этой системы. Для этого образуем функцию суммарной невязки в виде суммы квадратов невязок каждого из уравнений:

$$Q(C) = \sum_{i=1}^{N} \left[f(X_i, C) - y_i \right]^2 \tag{13}$$

Кад видно, эта функция неотрицательна и равна нулю при совпадении правых и левых частей уравнений решаемой системы. При этом чем более правые части уравнения системы (12) близки к левым, тем меньше значение функции невязки (13). Это и дает основание считать решением системы (12) такие значения параметров

$$C* = (c*_1, ..., c*_k) \tag{14}$$

при которых функция невязки минимальна, т. е.

$$Q(C*) = \min_c Q(C) .$$

Таким образом, для решения несовместной системы уравнений (12) достаточно минимизировать функцию суммарной невязки (13). Эту задачу можно записать в виде

$$Q(C) \to \min_{c}, \tag{15}$$

которая читается так: «минимизировать функцию *Q(C)* по *C*».

Пусть решением этой задачи является *C**, для которого при любом *C* выполняется очевидное неравенство

$$Q(C^*) \le Q(C), \tag{16}$$

(С — вектор (1), т. е. последовательность k компонентов $c_1,...,c_k$).

Задача идентификации статических систем сведена таким образом к задаче минимизации некоторой специально построенной функции многих переменных. Как решать такую задачу? Для этого в вычислительной математике разработан ряд эффективных методов, учитывающих специфические особенности минимизируемой функции *Q(C)*.

Рассмотрим простейший случай, когда функция f имеет вид

$$f(X,C) = \sum_{j=1}^{k} c_j \varphi_j(X) \tag{17}$$

где $\varphi_j(X),(j=1,...,k)$ —заданная система функций многих переменных. Специфика такой структуры заключается в линейности функции относительно искомых параметров $c_1,...,c_k$. Эта линейность позволяет свести задачу минимизации (15) к решению системы линейных алгебраических уравнений, которая, как известно, решается достаточно просто стандартными способами.

Простой вид функции (17) позволяет решить задачу минимизации (15), приравняв нулю частные производные функции $Q(C)$, т. е.

$$\frac{\partial Q(C)}{\partial c_l} = 0, l = 1,...,k \ . \tag{18}$$

Так как f в (17) является линейной функцией относительно *C*, то *Q(C)* в (13)— квадратичная функция, чем и обусловливается линейность системы уравнений (18). Действительно, подставляя (17) в (13) и дифференцируя, получаем вместо (18) после очевидных преобразований

$$\sum_{j=1}^{k} c_j \psi_{jl} - \eta_l = 0, l = 1,...,k \tag{19}$$

где

$$\psi_{jl} = \sum_{i=1}^{N} \varphi_j(X_i)\varphi_l(X_i),$$

$$\eta_l = \sum_{i=1}^{N} y_i \psi_l(X_i),\ j,l = 1,...,k \tag{20}$$

Как видно, (19) является системой линейных алгебраических уравнений относительно идентифицируемых параметров (1), которая легко решается стандартными способами (например, методами Гаусса, Крамера и т. д.).

Но эта простота получена ценой довольно серьезного упрощения: предполагалось, что поведение сложного объекта можно представить в виде (17), т. е. имеются функции $\varphi_i(X)$, с помощью которых можно достаточно точно описать поведение нашего объекта. Такое предположение редко выполняется для сложного объекта. Так, имитационные и ситуационные модели не могут быть идентифицированы этим методом, поскольку подобрать такие функции для них обычно не удается. Однако этот подход может служить в ряде случаев первым грубым способом получения модели сложного объекта.

Вернемся к системе уравнений (19). Рассмотрим матрицу этой системы ($k \times k$):

$$\Phi = \begin{Vmatrix} \psi_{1i} \dots \psi_{1k} \\ \dots\dots\dots\dots \\ \psi_{k1} \dots \psi_{kk} \end{Vmatrix} \tag{21}$$

Эту матрицу называют информационной матрицей Фишера. Она симметрична. Для однозначного решения необходимо, чтобы определитель этой матрицы |Ф| не был бы равен нулю, т. е.

$$|\Phi| \neq 0. \tag{22}$$

Этот определитель равен нулю в двух случаях: при $k>N$, т. е. когда недостаточно измерений, и при недостаточной вариабельности входа X, т. е. когда более чем N—k состояний $X_1, ..., X_N$ - линейно зависимы. Реагировать на эту ситуацию можно двояко: либо увеличивать количество наблюдений N, либо (если это не приводит к цели ввиду линейной зависимости) уменьшить размерность контролируемого входа X объекта, т. е. уменьшить число k.

4. Адаптивная идентификация статического объекта

Пусть C_i — значения идентифицируемых параметров на i-м шаге адаптивной идентификации. Пусть получена новая информация $I_{i+1} = \langle X_{i+1}, y_{i+1} \rangle$. Эта информация должна изменить C_i на C_{i+1} т.е. быть источником коррекции параметров:

$$C_{i+1} = C_i + \Delta C_{i+1}.$$

Задача, таким образом, состоит в определении ΔC_{i+1} через I_{i+1}. Для этого образуем локальную невязку выходов. модели и объекта в момент i+1:

$$q_{i+1}(C_i) = f(X_{i+1}, C_i) - y_{i+1}. \tag{23}$$

Очевидно, что величина ΔC_{i+1} должна быть такой, чтобы уменьшить квадрат этой невязки. Этого можно легко добиться, если шаг ΔC_{i+1} сделать «антиградиентным», т. е.

$$\Delta C_{i+1} = -a_{i+1} \nabla q^2{}_{i+1}(C_i) \tag{24}$$

Здесь a_{i+1} — некоторый положительный коэффициент, а ∇ — «набла», знак оператора градиента функции, которая стоит за этим знаком:

$$\nabla \left(\frac{\partial}{\partial c_1}, ..., \frac{\partial}{\partial c_n} \right)$$

Градиент является вектором, направленным в сторону наибольшего увеличения функции. Именно поэтому шаг делается в противоположном антиградиентном направлении функции $q^2(\mathrm{C})$, так как ее нужно минимизировать.

Определим градиент функции $q^2(\mathrm{C})$:

$$\nabla q^2(C) = \left(\frac{\partial q^2(C)}{\partial c_1}, ..., \frac{\partial q^2(C)}{\partial c_k} \right) = 2q(C) \left(\frac{\partial q(C)}{\partial c_1}, ..., \frac{\partial q(C)}{\partial c_k} \right) = 2q(C) \nabla q(C)$$

Подставляя сюда (23), получаем

$$\nabla q^2(C) = 2q(C) \nabla_C f(X, C).$$

Здесь индексом C при ∇ обозначен градиент по параметрам C. Это нужно отметить, так как функция зависит еще и от X.

Таким образом, получаем для коррекции параметров на (i+1)-м шаге следующее выражение:

$$\Delta C_{i+1} = -2a_{i+1}q_{i+1}(C_i)\nabla_C f(X_{i+1}, C_i)$$

Где

$$\nabla_C f(X_{i+1}, C_i) = \left(\frac{\partial f(X_{i+1}, C)}{\partial c_1}, ..., \frac{\partial f(X_{i+1}, C)}{\partial c_k} \right)\Big|_{c=c_i} \quad (25)$$

Это выражение легко вычисляется, если известно аналитическое выражение для функции f. Например, подставляя f из (17), получаем

$$\nabla_C f(X_{i+1}, C_i) = (\varphi_1(X_{i+1}), ..., \varphi_k(X_{i+1}))$$

Однако для сложных систем функция f определена лишь алгоритмически и вычисление частных производных в (25) уже не так просто.

Теперь о выборе параметра a. При малом его значении коррекция будет невелика. Но его нельзя делать и слишком большим, так как при этом невязка увеличится. Предположим, что при $a=a^*$ невязка минимальна и равна нулю. Этим обстоятельством можно воспользоваться для определения оптимального значения a. Для этого достаточно решить задачу однопараметрической минимизации

$$q^2(C - 2\alpha q(C)\nabla_C f(X, C)) \to \min_{a>0}, \quad (26)$$

т. е. минимизировать квадрат невязки по параметру a. Но, зная, что минимальное значение невязки при отсутствии помех равно нулю, эту задачу можно решить проще, приравнивая невязку нулю:

$$q(C - 2\alpha q(C)\nabla_C f(X, C)) = 0 \quad (27)$$

Решение этого уравнения и дает оптимальное значение a^*.

Выводы

Для идентификации необходимо иметь информацию об изменении входов и выходов объекта. В работе рассмотрен случай, когда объект пока не управляется (мы только создаем систему управления), поэтому влияние входа на выход не может быть исследовано на этапе идентификации. Это несколько упрощает задачу и в работе для исследования предлагается использовать упрощенную модель, в которой не фигурирует управляемый вход.

Проанализированы исходные данные, которые используются в процессе идентификации. Показано, что их удобно подразделить на два класса: априорные, которые содержатся в структуре модели, это означает, что должен быть задан (или определен на этапе структурного синтеза) например, вид уравнения, граф взаимосвязи элементов модели и т. д.; апостериорные, которые представляют собой наблюдения состояний входа и выхода объекта в процессе его нормальной эксплуатации.

Рассмотрены адаптивный и неадаптивный алгоритмы идентификации, их преимущества, недостатки, условия применения. Если адаптивный метод идентификации реализуется в реальном масштабе времени, то предлагается его называть методом самонастраивающейся модели. Представлена схема метода самонастраивающейся модели.

Исследована модель статического объекта. Задача идентификации статических систем сведена к задаче минимизации некоторой специально построенной функции многих переменных.

Список использованной литературы

1. Стеклов В.К. Сучасні системи управління в телекомунікаціях / В.К. Стеклов, Б.Я. Костік, Л.Н. Беркман; за заг.ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005. – 400 с.

2. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв та систем зв’язку: підруч. для вищ. навч. закл. / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Є. В. Кільчицький; за ред. В. К. Стеклова. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.

3. Лотош М. М. Основы теории автоматического управления / М. М. Лотош, А. Л. Шустер. – М., 1992. – 485 с.

4. Ткаченко О. М. Основна задача управління та шляхи її вирішення / О. М. Ткаченко // Тези доповідей III Міжнар. наук.-техн. конференції студентства та молоді «Світ інформації та телекомунікацій-2006». – Київ: 26-27 квітня 2006 р. – С. 63.

5. Ткаченко О. М. Ідентифікація параметрів моделі як один з етапів управління складним об’єктом / О. М. Ткаченко // Тези доповідей IV Міжнар. наук.-техн. конференції студентства та молоді «Світ інформації та телекомунікацій-2007». – Київ: 12-13 квітня 2007 р. – С. 61.

6. Ткаченко О. М. Оптимізація параметрів систем управління телекомунікаційними мережами / О. М. Ткаченко, Д. О. Нацик // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2005. – Т. 3, № 3–4. – С. 71–73.

7. Лазарев В.Г. Вопросы управления распределением информации на сетях связи / В.Г. Лазарев // Дискретные автоматы и сети связи. – М.: Наука, 1970. – С. 3-13.

8. Ткаченко О. М. Динамічний розподіл потоків інформації на телекомунікаційних мережах / О. М. Ткаченко // Тези доповідей III Міжнар. наук.-техн. конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології /COMINFO’2007/». – Київ: 24-28 вересня 2007 р. – С. 114–116.

9. Стеклов В.К. Підходи до ситуаційного управління телекомунікаційними мережами / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Л.В. Рудик, А.С. Стець // Зв’язок. – 2005. – №1. – С. 47–57.

10. Принципи побудови інтелектуальних систем управління мережами зв’язку / М. Ю. Артеменко, Л. Н. Беркман, Т. І. Олешко, О. М. Ткаченко, Н. В. Коршун // Зв’язок. – 2006. – № 7. – С. 43–46.

Автори статті

Ткаченко Ольга Миколаївна - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Дищук Анатолій Станіславович - Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Перепелиця Наталя Леонідівна - старший викладач кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Черниш Катерина Михайлівна - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Демченко Сергій Олександрович - студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Tkachenko Olga Mykolayvn - candidate of science (technic), assistant professor, assistant professor of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Dyshchuk Anatoliy Stanislavovych - State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Perepelytcya Natalya Leonidivna - senior lecturer of telecommunication systems and networks department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Chernysh Kateryna Myhailivna - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Demchenko Sergiy Oleksandrovych - student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 14.07.2017 р. Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Власов