

Беркман Л.Н., д.т.н.; Макаренко А.О., д.т.н.;  
Зіненко Ю.М., к.т.н.; Захаржевський А.Г., здобувач

## МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

**Berkman L.N., Makarenko A.O., Zinenko Yu.M., Zakhazhevskiy A.H. Methods of determining the parameters of objects management of telecommunication networks.**

We consider the problem and methods for determining the parameters of objects management of telecommunication networks. Determined that in modern science and technology, as well as in telecommunications in particular are widely used mathematical models of processes under study. The basic problem of determining the parameters of facilities management, including in particular is the task of the operator stochastic object that describes the relationship between random input and output variables. This full common carrier, for example, multivariate conditional probability density of the vector output when monitoring the input vector. However, the definition of conditional distribution laws require sophisticated experiment and large volume calculations. Therefore, solving practical problems using conventional torque characteristics: conditional mathematical expectations and correlation functions. On this basis, determine the best deterministic operator in terms of statistical criteria adopted approximating operator system is determined. It is shown that many features with parametric parameters defining managed object has a method of least squares using the theory of sensitivity and studied this method. This method can be applied to objects that based on prior information known structure equations describing their behavior and nominal values.

**Keywords:** telecommunication networks, facility management, mathematical models, statistical identification, operator

**Беркман Л.Н., Макаренко А.О., Зіненко Ю.М., Захаржевський А.Г. Методи визначення параметрів об'єктів управління телекомунікаційних мереж.**

В роботі розглянуто завдання і методи визначення параметрів об'єктів управління телекомунікаційних мереж. Визначено, що у сучасній науці і техніці, а також в галузі телекомунікацій зокрема широко застосовуються математичні моделі досліджуваних процесів. Досліджено основні завдання визначення параметрів об'єктів управління, серед яких зокрема є завдання знаходження відповідного оператора стохастичного об'єкту, що характеризує зв'язок між випадковими вхідною і вихідною змінними. Показано, що широкими можливостями при параметричному визначенні параметрів об'єктів управління володіє метод найменших квадратів з використанням теорії чутливості та досліджено цей метод.

**Ключові слова:** телекомунікаційні мережі, об'єкт управління, математичні моделі, статистична ідентифікація, оператор

**Беркман Л.Н., Макаренко А.А., Зіненко Ю.М., Захаржевський А.Г. Методы определения параметров объектов управления телекоммуникационных сетей.**

В работе рассмотрены задачи и методы определения параметров объектов управления телекоммуникационных сетей. Определено, что в современной науке и технике, а также в области телекоммуникаций в частности широко применяются математические модели изучаемых процессов. Исследованы основные задачи определения параметров объектов управления, среди которых в частности является задача нахождения соответствующего оператора стохастического объекта который характеризует связь между случайными входной и выходной переменными. Показано, что широкими возможностями при параметрическом определении параметров объектов управления обладает метод наименьших квадратов с использованием теории чувствительности и исследован этот метод.

**Ключевые слова:** телекоммуникационные сети, объект управления, математические модели, статистическая идентификация, оператор

### Вступ

Метою управління телекомунікаціями взагалі та автоматизації управління зокрема є забезпечення оптимального функціонування мереж телекомунікаціями відповідно до їх призначення, при якому телекомунікації виконують необхідні завдання при мінімумі матеріальних, фінансових, фізичних, інтелектуальних витрат [1 - 3].

У сучасній науці і техніці, а також в галузі телекомунікацій зокрема широко застосовуються математичні моделі досліджуваних процесів. При побудові цих математичних моделей необхідна ідеалізація, спрощення реальних фізичних явищ, властивих телекомунікаційному обладнанню та системам на їх основі.

При цьому одна і та ж система може бути описана різними моделями в залежності від поставленого завдання дослідження і рівня ідеалізації. Для всіх телекомунікаційних систем є характерним перебіг фізичних та програмних явищ і процесів управління в часі. Такі системи є динамічними. Окремим випадком динамічних систем є телекомунікаційні системи, які мають зворотні зв'язки, що забезпечує достатність протікання процесів управління.

В теорії систем управління телекомунікаціями динамічна система розглядається з інформаційної точки зору, тобто з точки зору перетворення та оцінки сигналів або величин, які характеризують процес управління та мету управління. Вибір моделі системи передбачає, що її властивості строго математично описані. При цьому динаміка одних пристроїв характеризується лінійними диференціальними, різницевиими і інтегральними рівняннями або лінійними функціональними залежностями, а динаміка інших - нелінійними рівняннями і функціональними залежностями.

Методи дослідження систем управління, що використовують цей спосіб опису їх поведінки, прийнято називати методами простору станів. Більш повний виклад даних методів викладено в працях по сучасній теорії управління вітчизняних та зарубіжних вчених таких, як Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Афанасьєв В.В., Лазарєв В.Г., Непман В.І., Нетес В.А., Романов А.І., Михайлов В.Ф., Поспелов Г.С., Зайцев Г.Ф., Архіпов Н.І., Волкова В.Н., Захарченко Н.В., Красовський А.А., Фельдбаум А.А., Новосьолов А.І. та інших.

**Мета даної статті** полягає в висвітленні досліджень завдань і методів визначення параметрів об'єктів управління телекомунікаційних мереж.

### **1. Завдання визначення параметрів об'єктів управління**

При вирішенні завдань синтезу автоматичного управління необхідно мати інформаційну математичну модель об'єкту. Під математичною моделлю об'єкту розуміється оператор або система рівнянь, що характеризують його поведінку і виражають усі його інформаційні властивості. Математичний опис об'єкту для побудови інформаційної моделі може бути здійснений на основі теоретичних досліджень, логічного аналізу, на основі вивчення вхідних і вихідних сигналів. Побудова символічної (математичною) моделі об'єкту на підставі аналізу його вхідних і вихідних сигналів є визначенням об'єкту. У простих випадках визначення може бути здійснена на основі детермінованого вхідного сигналу. Проте практично частіше виникає завдання визначення об'єкту в процесі його нормальної експлуатації, тобто при дії випадкових вхідних сигналів. Крім того, наявність випадкових перешкод, діючих на об'єкт і на вимірника, призводить до випадкових вихідних сигналів. Тому завдання визначення має бути сформульоване як статистичне [1 - 3], таким чином потрібно побудувати математичну модель об'єкту при спостереженні за вхідним і вихідним сигналами. При статистичному визначенні оператор об'єкту, його рівняння або динамічні характеристики визначаються на основі імовірнісних методів обробки сигналів і отриманні імовірнісних оцінок.

Завдання статистичного визначення різноманітні і представляють великий практичний інтерес, а методи їх рішення сильно прогресують завдяки розвитку імовірнісних алгоритмів обробки спостережень і теорії статистично оптимального рішення. Одним із загальних завдань визначення є завдання визначення відповідного оператора стохастичного об'єкту, що характеризує зв'язок між випадковими вхідною і вихідною змінними. Таким повним загальним оператором є, наприклад, багатовимірна умовна щільність вірогідності векторного вихідного сигналу при спостереженні вектору вхідного сигналу. Проте визначення умовних законів розподілу вимагає складного експерименту і великого об'єму обчислень. Тому при рішенні практичних завдань використовують умовні моментні характеристики: умовні математичні очікування і кореляційні функції [3]. На їх основі визначають детермінований оператор якнайкраще в сенсі прийнятого статистичного критерію апроксимуючий оператор системи, що визначається.

## 2. Метод визначення параметрів об'єктів управління

Широкими можливостями при параметричному визначенні параметрів об'єктів управління володіє метод найменших квадратів з використанням теорії чутливості [1 - 3]. Цей метод може бути застосований до об'єктів, для яких на підставі апріорної інформації відома структура рівнянь, що описує їх поведінку, і номінальні значення параметрів. Нехай такі рівняння задані в нормальній формі в фазовому просторі станів:

$$\dot{\Phi} = f(\Phi, t, A, X), \quad \Phi(t_0) = 0, \quad (1)$$

де  $\Phi$  - вектор стану;  $A$  - вектор параметрів, що визначаються при номінальних постійних значеннях  $A^*$ ;  $X$  - вектор випадкових збурень, що діють на об'єкт;  $f$  - нелінійна векторна  $n$ -мірна функція. Завдання полягає у визначенні відхилень фактичних параметрів  $a_i = A_i - A_i^*$  від їх номінальних значень при спостереженні однієї або декількох координат об'єкту.

Вважаючи відхилення параметрів  $a_i$  від номінальних значень не великим, уявімо наближено рішення для  $i$ -ї вихідної координати у вигляді

$$\Phi_i = \Phi_i^* + \sum_{s=1} \varphi_{is} a_s, \quad (2)$$

де  $\varphi_{is}$  - функція чутливості фазової координати  $\Phi_i$  згідно параметру  $A_s$ , зірочка \* означає, що похідні або змінні обчислюються при номінальних значеннях параметрів. Змінні  $\Phi_i^*(t)$  визначаються з рівнянь (1) при номінальних значеннях параметрів:

$$\dot{\Phi}^* = f(\Phi^*, t, A^*, X), \quad \Phi^*(t_0) = 0 \quad (3)$$

а функції чутливості, за визначенням [1, 3], знаходяться з рівнянь

$$\dot{\varphi}_{is} = \sum_{p=1} \left( \frac{\partial f_i}{\partial \Phi_p} \right)^* \varphi_{ps} + \left( \frac{\partial f_i}{\partial A_s} \right)^*, \quad \varphi_{is}(t_0) = 0 \quad (4)$$

Припустимо, що для визначеного об'єкта управління отримані моделі (3) і (4) і проводять виміри однієї фазової координати  $\Phi_i^*(t_\alpha)$  в момент часу  $t_\alpha$ . Позначимо реалізації вимірювань через  $\Phi_i^{(v)}(t_\alpha)$   $\alpha = 1, K, q$ ,  $v = 1, K, N$  де  $q$  - число моментів часу, обраних для вимірювання,  $N$  - число вимірювань в кожній фіксованій точці  $t_\alpha$ , необхідних через стохастичний характер завдання при дії на об'єкт збурень  $X(t)$ . Шляхом спільного багаторазового інтегрування рівнянь (3) і (4) обчислюємо величини  $\Phi_i^{(v)}(t_\alpha)$  і  $\varphi_{is}^{(v)}(t_\alpha)$  в моменти часу  $t_\alpha$ .

Якби вимірювання величин  $\Phi_i^{(v)}(t_\alpha)$  були точними, то з рівнянь (2) при  $q = m$  можна було б визначити значення параметрів  $a_s$  для кожної реалізації випадкового процесу. Потім статистичною обробкою по статистичній вибірці можна було б визначити ймовірні оцінки цих параметрів. Однак вимірювання відбуваються з помилками, тому рівняння (2) після підстановки в них величин  $\Phi_i^{(v)}(t_\alpha)$  виявляються несумісними і число їх може бути більше  $m$ . Можна вважати помилки вимірювання гаусовими. У такій ситуації доцільно для визначення оцінок параметрів  $a_s$  застосувати метод найменших квадратів. Для цього складемо квадратичну форму виду [3]

$$\beta = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \left( \sum_{\alpha=1}^q p_\alpha \left[ \Phi_i^{(v)}(t_\alpha) - \Phi_i^{*(v)}(t_\alpha) - \sum_{s=1}^m \varphi_{is}^{(v)}(t_\alpha) a_s \right]^2 \right), \quad (5)$$

де  $p_\alpha$  - вагові коефіцієнти, які при нормальному законі розподілу і в припущенні незалежності

помилку вимірювань в моменти часу  $t_\alpha$  рівні зворотним значенням дисперсій вимірювань:

$$p_a = [\sigma_i^2(t_a)]^{-1}.$$

Зокрема, їх можна прийняти рівними між собою для будь-якого моменту часу.

Відповідно до методу найменших квадратів [2, 3] оцінки параметрів  $a_s$  вибираються з умови мінімуму квадратичної форми  $\beta$  (5). Необхідна умова мінімуму функції  $\beta$  призводить до системи рівнянь

$$\frac{\partial^2 \beta}{\partial a_k} = \frac{2}{N} \sum_{v=1}^N \left( \sum_{a=1}^q p_a \left[ \Phi_i^{(v)}(t_a) - \Phi_i^{*(v)}(t_a) - \sum_{s=1}^m \omega_{is}^{(v)}(t_a) a_s \right] \varphi_{ik}^{(v)}(t_a) \right) = 0. \quad (6)$$

Число рівнянь (6) дорівнює числу невідомих. Оскільки на підставі (5) функція  $\beta$  є невід'ємним квадратним многочленом щодо  $a_s$ , мінімум цієї функції завжди існує. Але так як значення  $a_s$ , відповідні мінімуму, обов'язково задовольняють рівнянням (6), то система ця завжди є спільною, тобто має рішення.

Перепишемо рівняння (6) у вигляді

$$\sum_{s=1}^m \left( \sum_{a=1}^q p_a \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \varphi_{is}^{(v)}(t_a) \varphi_{ik}^{(v)}(t_a) \right) a_s = \sum_{a=1}^q p_a \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \left[ \Phi_i^{(v)}(t_a) - \Phi_i^{*(v)}(t_a) \right] \varphi_{ik}^{(v)}(t_a). \quad (7)$$

Як видно з рівнянь (7), оцінки, одержувані методом найменших квадратів, є лінійними функціями результатів спостережень. Як відомо [1, 3], ці оцінки є також незміщеними і мають найменшу дисперсію серед всіх лінійних незміщених оцінок.

Так як розглянутий визначений об'єкт піддається дії випадкових збурень, то необхідно в кожній точці  $t_\alpha$  виконувати  $N$  вимірювань, число яких визначається заданою точністю статистичної обробки. Для зменшення впливу помилок вимірювань слід збільшувати число моментів часу  $t_\alpha$ , в які проводяться вимірювання. Система рівнянь (7) може мати неоднозначні рішення в тому випадку, якщо число спостережень  $q < m$ , де  $m$  - число параметрів. У разі  $q = m$  система (7) має єдине нульове рішення.

Викладений спосіб визначення параметрів динамічних нелінійних об'єктів можна застосувати і в тих випадках, якщо визначаються параметри є нестационарними. У цих випадках систему (1) зі змінними параметрами слід замінити на інтервалі часу  $(t_1, t_2)$  системою рівнянь з кусочно- постійними коефіцієнтами і на цьому інтервалі застосувати всю викладену процедуру визначення. Інтервал  $(t_1, t_2)$  є кроком визначення, на якому можна застосувати метод, викладений у цій статті.

## Висновки

В роботі розглянуто завдання і методи визначення параметрів об'єктів управління телекомунікаційних мереж. Визначено, що у сучасній науці і техніці, а також в галузі телекомунікацій зокрема широко застосовуються математичні моделі досліджуваних процесів. Досліджено основні завдання визначення параметрів об'єктів управління, серед яких зокрема є завдання знаходження відповідного оператора стохастичного об'єкту, що характеризує зв'язок між випадковими вхідною і вихідною змінними. Показано, що широкими можливостями при параметричному визначенні параметрів об'єктів управління володіє метод найменших квадратів з використанням теорії чутливості та досліджено цей метод.

**Список використаної літератури**

1. Методи оптимізації: Підручник для студентів вищих навч. закладів за напрямком «Телекомунікації» / В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман. - ДУТ, 2016. - 442 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж. – К.: Техніка, 2002. - 792 с.
3. Казаков И.Е. Статистическая теория систем управления в пространстве состояний / И.Е. Казаков. - М.: Наука, 1975. - 432 с.

***Автори статті***

**Беркман Любов Наумівна** – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Макаренко Анатолій Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Зіненко Юрій Миколайович** – кандидат технічних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

**Захаржевський Андрій Геннадійович** – здобувач, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

***Authors of the article***

**Berkman Lyubov Naumivna** – sciences doctor (technic), professor, vice-rector for scientific and pedagogical work, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Makarenko Anatoliy Oleksandrovych** – candidate of Science (technic), associate professor, professor of Department of Mobile and Video Information Technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Zinenko Yuriy Mykolayovych** - candidate of Science (technic), State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

**Zakharzhevskiy Andrii Hennadiiovych** - applicant, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 10.01.2020 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Вишнівський